

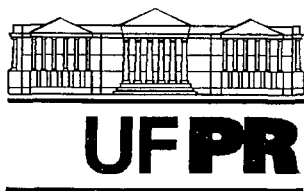
RUI DA SILVA

**IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE RECARGA E DESCARGA DO AQUÍFERO
CARSTE NA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA E SUA RELAÇÃO COM O
MANANCIAL DE SUPERFÍCIE, NO MUNICÍPIO DE COLOMBO-PR.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Ciências
Agrárias, Curso de Pós-Graduação em
Agronomia - Área de concentração: Ciências do
Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade
Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Maria Muratori

CURITIBA
2001

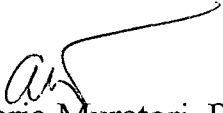


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisolo@agrarias.ufpr.br

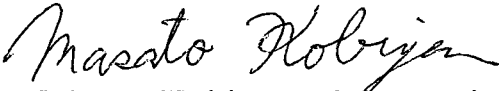
P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **RUI DA SILVA**, com o título: **"Identificação das áreas de recarga e descarga do aquífero carste na bacia do Ribeirão da Onça e sua relação com o manancial de superfície no Município de Colombo/PR"**, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, com o conceito **"B"**, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 27 de setembro de 2001.


Prof. Dra. Ana Maria Muratori, Presidente.


Dra. Tânia Lúcia Gräf de Miranda, Iª Examinadora.


Prof. Dr. Masato Kobiyama, IIª Examinador.

“ Acho que a base do sucesso em qualquer atividade está primeiro em se ter uma oportunidade, que aparece, não porque você cria o momento, mas porque alguém chega e abre uma porta .”

Ayrton Senna da Silva

AGRADECIMENTOS

À UFPR por mais uma oportunidade de aprimoramento profissional.

À Professora Ana Maria Muratóri pela orientação e incentivo a desenvolver os trabalhos de pesquisa.

Ao Geólogo Álvaro Amoretti Lisboa pela co-orientação e apoio nas pesquisas do Projeto Emergencial Cárste.

À Alexandra Oliveira de Moraes pela colaboração na digitação do trabalho.

Aos colegas da SUDERHSA do Setor de Geoprocessamento pela digitalização dos mapas, do departamento de hidrologia pelo fornecimento dos dados pluviométricos e pela elaboração dos gráficos.

À minha esposa e filhos pelo carinho e dedicação no decorrer de mais uma etapa.

À todos que de alguma forma participaram da realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	vi
LISTA DE QUADROS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	2
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2 REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA.....	3
2.1 CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA.....	6
2.2 GEOLOGIA.....	7
2.2.1 PRINCIPAIS UNIDADES GEOLÓGICAS NA ÁREA DE ESTUDO.....	7
2.2.1.1 COMPLEXO GNAÍSSICO-MIGMATÍTICO.....	7
2.2.1.2 GRUPO AÇUNGUI.....	8
2.2.1.3 FORMAÇÃO CAPIRÚ	9
2.2.1.4 FORMAÇÃO GUABIROTUBA.....	11
2.2.1.5 ALUVIÃO.....	12
2.2.2 COMENTÁRIO SOBRE A EVOLUÇÃO GEOLÓGICA.....	13
2.3 CLIMA.....	17
2.3.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICA LOCAL.....	19
2.3.2 INFLUÊNCIA DO CLIMA NA CARSTIFICAÇÃO.....	21
2.4 HIDROGRAFIA.....	24
2.4.1 ASPECTOS REGIONAIS.....	24
2.4.2 HIDROGRAFIA AO NORTE NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.....	24
2.5 GEOMORFOLOGIA.....	27
2.5.1 GEOMORFOLOGIA REGIONAL.....	27
2.5.2 REGIÃO DO CARSTE: FORMAÇÃO E SISTEMA DE ABSORÇÃO E CIRCULAÇÃO D'ÁGUA.....	29
2.5.3 GEOMORFOLOGIA LOCAL.....	31
2.6 VEGETAÇÃO.....	38

3 MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	40
3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	41
3.3 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DA BACIA	44
3.3.1 HIERARQUIZAÇÃO DOS CANAIS DE DRENAGEM (SEGUNDO STRAHLER (1952))	45
3.3.2 ÁREA DA BACIA	45
3.3.3 PERÍMETRO DA BACIA	45
3.3.4 DENSIDADE HIDROGRÁFICA	46
3.3.5 DENSIDADE DE DRENAGEM	46
3.3.6 COMPRIMENTO MÉDIO (Lm) E RELAÇÃO DO COMPRIMENTO MÉDIO (Rlm)	46
3.3.7 RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO (Rb)	47
3.3.8 RELAÇÃO DE RELEVO (Rr%)	47
3.3.9 FORMA DA BACIA (Kc)	48
3.3.10 GRADIENTES DOS CANAIS (Rgc°)	48
3.3.11 EXTENÇÃO DO PERCURSO SUPERFICIAL (Eps)	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1 ANÁLISE MORFOMÉTRICA	50
4.2 INTERPRETAÇÃO DA MORFOMETRIA DA BACIA	56
4.2.1 CARACTERÍSTICAS DO RELEVO DA BACIA	57
4.3 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DA BACIA	58
4.4 CONDICIONAMENTO DOS ELEMENTOS COMPARTIMENTAIS	58
4.4.1 CONDICIONAMENTO MORFOLÓGICO	59
4.4.2 CONDICIONAMENTO HIDROGRÁFICO	65
4.4.3 COMPARTIMENTAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	67
4.5 ZONA DE RECARGA DO AQÜÍFERO	70
4.6 ZONA DE DESCARGA DO AQÜÍFERO	77
4.7 ÁREAS DE AFLORAMENTO DA ROCHA CARBONÁTICA	82
4.8 ÁREAS DE AFLORAMENTO DAS ROCHAS SILICATADAS	93
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXOS	105

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	- RESUMO ESQUEMÁTICO DOS PRINCIPAIS PROCESSOS HIDROQUÍMICOS NOS SOLOS DE ZONAS DE RECARGA.....	22
FIGURA 2	- MAPA GEOLÓGICO DO CÁRSTE COM DIVISORES DE BACIA.....	26
FIGURA 3	- BLOCO DIAGRAMA DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA.....	28
FIGURA 4	- ESQUEMA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NUMA REGIÃO CÁRSTICA.....	30
FIGURA 5	- MAPA DE DECLIVIDADE	34
FIGURA 6	- MAPA GEOLÓGICO DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA	35
FIGURA 7	- REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS TIPOS FUNDAMENTAIS DE FORMAS DE ABSORÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM FUNDOS DE DEPRESSÕES POLIGONAIS NO SISTEMA CÁRSTICO DO ALTO RIBEIRA....	37
FIGURA 8	- MAPA DE LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	40
FIGURA 9	- ENTRADAS E SAÍDAS DE UM SISTEMA HIDROLÓGICO CÁRSTICO.....	43
FIGURA 10	- MAPA COM HIERARQUIA DE DRENAGEM	55
FIGURA 11	- MODELO TRIDIMENSIONAL REPRESENTANDO COMPARTIMENTO UNITÁRIO.....	59
FIGURA 12	- FOTOGRAFIA DA VISTA DO DIQUE DE DIABÁSIO QUE COMPÕE A CdbSW, TIRADA A PARTIR DO CdbNE.....	61
FIGURA 13	- FOTOGRAFIA DA VISTA DOS DIQUES DE DIABÁSIO QUE COMPÕE A CdbSW AO FUNDO, E DO CdbNE EM PRIMEIRO PLANO.....	61
FIGURA 14	- FOTOGRAFIA DA VISTA DO DIQUE DE DIABÁSIO QUE COMPÕE A CdbNE, TIRADA A PARTIR DA CdbSW.....	62
FIGURA 15	- FOTOGRAFIA DA VISTA DA CRISTA QUARTZO – FILÍTICA QUE COMPÕE A CqfNW, TIRADA A PARTIR DA CdbSW.....	63

FIGURA 16 - FOTOGRAFIA DA VISTA DA CRISTA QUARTZO – FILÍTICA QUE COMPÕE A CqfSE.....	63
FIGURA 17 - FOTOGRAFIA DA VISTA DE ÁREA ALTAMENTE DOLINIZADA, DETERMINANDO O SISTEMA DE RECARGA DO Aqüífero, REGIÃO NORTE DA BACIA.....	72
FIGURA 18 - MAPA DE FORMAS CÁRSTICAS.....	74
FIGURA 19 - FOTOGRAFIA DA ZONA DE RECARGA COM DOLINA TÍPICA.....	72
FIGURA 20 - FOTOGRAFIA DA ZONA DE RECARGA, DOLINA SENDO PREENCHIDA POR ATERROS, REGIÃO NORTE DA BACIA...73	
FIGURA 21 - FOTOGRAFIA DO PONTO DE DESCARGA DO Aqüífero, REPRESENTADO POR SURGÊNCIA.....	78
FIGURA 22 - FOTOGRAFIA MOSTRANDO A ÁREA DE INVERSÃO DE FLUXO.....	80
FIGURA 23 - FOTOGRAFIA MOSTRANDO A EXTINÇÃO DE SURGÊNCIAS, TRANSFORMANDO EM ÁREA DE INVERSÃO DE FLUXO....	81
FIGURA 24 - FOTOGRAFIA MOSTRANDO A ALTERAÇÃO NO FLUXO D'ÁGUA, TRANSFORMANDO SURGÊNCIAS EM SUMIDOUROS.....	81
FIGURA 25 - FOTOGRAFIA DA ÁREA DE RECARGA, LIMITANTE COM RELEVO ONDULADO DO GRUPO AÇUNGUI A NW, DA BACIA.....	83
FIGURA 26 - FOTOGRAFIA DA ÁREA DE RECARGA, COM LIMITANTE A LESTE, AO FUNDO ROCHAS INCONSISTENTES DO GRUPO AÇUNGUI.....	83
FIGURA 27 - FOTOGRAFIA MOSTRANDO O RIO INTERMITENTE NA ÁREA DE DESCARGA, PROCESSO DE INVERSÃO DE FLUXO.....	91
FIGURA 28 - MAPA DE RECARGA E DESCARGA DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA.....	92
GRÁFICO 1 - HISTOGRAMA MOSTRANDO A DIFERENÇA HÍDRICA ANUAL ENTRE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO ANUAL (ESTAÇÕES JURUIQUI E COLOMBO, PERÍODO 1986 – 1994), SUDERHSA (1997).....	21

GRÁFICO 2 - HIETOGRAMA, NÍVEL DINÂMICO E VAZÃO DO POÇO 01 DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA.....	75
GRÁFICO 3 - HIETOGRAMA, NÍVEL DINÂMICO E VAZÃO DO POÇO 12 DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA.....	76
GRÁFICO 4 - HIETOGRAMA, NÍVEL DINÂMICO E VAZÃO DO POÇO 10 DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA.....	85
GRÁFICO 5 - HIETOGRAMA, NÍVEL DINÂMICO E VAZÃO DO POÇO 14 DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA.....	86
GRÁFICO 6 - HIETOGRAMA, NÍVEL DINÂMICO E VAZÃO DO POÇO 15 DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA.....	87
TABELA 1 - QUANTIFICAÇÃO DAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA COLOMBO-PR.....	89
TABELA 2 - NÍVEL DINÂMICO E VAZÃO DO POÇO 01 DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA	106
TABELA 3 - NÍVEL DINÂMICO E VAZÃO DO POÇO 10 DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA	108
TABELA 4 - NÍVEL DINÂMICO E VAZÃO DO POÇO 12 DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA	110
TABELA 5 - NÍVEL DINÂMICO E VAZÃO DO POÇO 14 DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA	112
TABELA 6 - NÍVEL DINÂMICO E VAZÃO DO POÇO 15 DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA	114
TABELA 7 - DADOS PLUVIOMETRICOS DA ESTAÇÃO JURIQUE ALMIRANTE TAMANDARÉ, (ALTURAS MENSAIS DE PRECIPITAÇÕES mm).....	116
TABELA 8 - DADOS PLUVIOMETRICOS DA ESTAÇÃO COLOMBO (RESUMO ANUAL DE PRECIPITAÇÃO mm).....	117
TABELA 9 - DADOS PLUVIOMETRICOS DA ESTAÇÃO COLOMBO (DADOS MENSAIS DE PRECIPITAÇÕES mm).....	118

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - RELAÇÕES DOS RESULTADOS FÍSICOS	50
QUADRO 2 - NUMERO DE CANAIS	50
QUADRO 3 - COMPRIMENTO DE CANAIS (L_u) E COMPRIMENTO MÉDIOS DE CANAIS (L_{mu})	51
QUADRO 4 - RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO (R_b)	51
QUADRO 5 - RELAÇÃO PONDERADA DE BIFURCAÇÃO (R_{pb})	51
QUADRO 6 - NUMERO TEÓRICO DE CANAIS POR ONDEM (E_q)	52
QUADRO 7 - RELAÇÃO ENTRE OS COMPRIMENTOS MÉDIOS (R_{lm})	52
QUADRO 8 - RELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE ENTRE O COMPRIMENTO MÉDIO E O DE BIFURCAÇÃO.....	52
QUADRO 9 - RELAÇÃO PONDERADA DOS COMPRIMENTOS MÉDIOS (R_{prlm})	53
QUADRO 10 - NUMERO TEÓRICO DOS COMPRIMENTOS MÉDIOS	53
QUADRO 11 - COMPRIMENTO MÉDIO DE CANAIS E EQUILÍBRIO DINÂMICO	54

RESUMO

O presente trabalho de pesquisa, objetivou através de análises morfológicas, geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas, contribuir para o Projeto Emergencial Carste na Bacia do Ribeirão da Onça, no município de Colombo – Pr. Neste trabalho foram identificadas as áreas de recarga e descarga, e definida a área de inversão no aquífero cárste, e suas relações com o manancial de superfície. Estas identificações são de fundamental importância, tendo em vista o acelerado crescimento demográfico desta região, contrapondo-se a vulnerabilidade do meio físico, em especial dos recursos hídricos. A área de estudo está localizada na porção norte da Região Metropolitana de Curitiba, entre os paralelos 25 15' 09"S e 25 17' 19"S; e entre longitudes 49 08' 46" W e 49 12' 35"W. Geologicamente, faz parte do grupo Açungui, onde estão presentes rochas carbonatadas, que se caracterizam pela capacidade de armazenamento de água, do ponto de vista geomorfológico, dando origem às formas cársticas.

Através de fotointerpretação e subsequente controle de campo foi confeccionado um mapa detalhado das formas cársticas e após, levando-se em conta os conhecimentos geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos e o monitoramento do nível estático do lençol subterrâneo através dos poços artesianos, foram delimitadas as áreas de recarga, descarga e de inversão, sendo as mesmas representadas através de mapa. O alto grau de dissolução das rochas carbonatadas (mármore dolomíticos e calcíticos), é influenciado pelo alto índice de precipitação local, acima de 1400 mm/ano. A densa rede de diáclases e fraturas, possibilita o desenvolvimento de dolina, ouvalas, sumidouros e ressurgências, formas estas relacionadas à recarga e descarga do aquífero. O intercâmbio entre as águas superficiais e subterrâneas através destas estruturas pode ser modificada pelo excesso de exploração através de poços artesianos, ocasionando inclusive inversão de fluxo em períodos de estiagem.

Palavras – chaves: Identificação; Áreas de Recarga e Descarga; Aquífero; Carste.

ABSTRACT

The present research work has aimed through morfological, geological, hydrogeological and hydrological analysis to contribute for the karst Emergency Project in the Onça Creek Basin, in Colombo municipality, Paraná State. In this work the recharge and discharge areas have been identified, and defined the inversion area in the karst aquifer, and its relations with the surface watersource. These identifications are of fundamental importance, taking into account the rapid demographic growth in this region, that increases the fragility of the environment, especially the water resources. The study area is located in the north portion of Curitiba Metropolitan Region, between the parallels 25° 15' 09"S and 25° 17' 19"S; and longitudes 49° 08' 46"W and 49° 12' 35"W. Geologically, it is part of Açungui Group, rich in carbonated rocks, which have a high capacity for water storage, and from the geomorphological viewpoint giving origin to the karstic forms. A detailed map with the karstic forms was elaborated through photointerpretation and subsequent field control, and afterwards the recharge, discharge and inversion areas were delimitedated with the help of geological, hydrological, and hydrogeological studies and the water table monitoring through artesian wells. They are shown in a map. The high degree of dissolution of carbonated rocks (dolomitic and calcitic marbles) is influenced by the high local rainfall rates, above 1400mm/year. The dense net of joint and faults makes possible the dolini development, ouvalas, sinchhole and ressurgencies, beeing these forms related to the aquifer recharge and discharge. The interchange between surface and underground water through these structures can be modified by the excessive explotation of artesian wells, causing flux inversion in dry periods.

Key – words: Identifications; Recharge and Discharge areas; Aquifer; Karst.

1. INTRODUÇÃO

A água subterrânea, mais especificamente com relação aos condicionantes de sua forma de ocorrência para fins de gerenciamento hídrico, é parte integrante do sistema aberto do ciclo hidrológico. E como tal, deve estar no planejamento da utilização dos recursos hídricos de uma região.

Tal estudo se apresenta de importância fundamental, tendo em vista o acelerado crescimento demográfico da Região Metropolitana de Curitiba, contrapondo-se aos seus recursos naturais limitados, em especial os recursos de superfícies.

A compreensão do funcionamento dos sistemas hídricos, com ênfase aos mananciais subterrâneos, é de fundamental importância para o equacionamento da problemática acima abordada, por serem os mesmos responsáveis pela descarga de base desses sistemas, ou a vazão segura para o abastecimento.

Neste sentido, reveste-se de fundamental importância o conhecimento detalhado das características do sistema hídrico do aquífero cárste, buscando-se assim procedimentos gerenciais que possibilitem proteger, planejar e utilizar de modo sustentado as disponibilidades existentes, além de adequar e planejar de acordo com as vocações naturais dos seus diferentes compartimentos.

Segundo **Philippe Gombert** (1995), o estudo de recarga nos lençóis subterrâneos pode fazer face às necessidades futuras de desenvolvimento econômico e social que possibilitara bombeamentos mais profundos, sendo necessário, entretanto, a proteção das zonas de recarga.

O uso contínuo do bombeamento dos poços artesianos aliados a estação de estiagem afeta o lençol freático, que juntamente com o uso da água de superfície para a irrigação de produtos hortigranjeiros, reduz a disponibilidade das águas superficiais.

Podendo a diminuição do nível do lençol freático, ocasionar que áreas anteriormente de descarga do aquífero tornem-se agora áreas de recarga, uma vez que a diminuição da água de superfície vem ser consequência do do lençol freático.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da presente pesquisa inserida na bacia hidrográfica do Ribeirão da Onça, visa contribuir para o projeto emergencial carste, fornecendo subsídios para a exploração e proteção do manancial subterrâneo do aquífero cárstico.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as áreas de recarga e de descarga e suas relações com os recursos se superfícies, através de análises morfológicas, hidrogeológicas, geológicas e hidrológicas.
- Elaborar mapa com hierarquia de drenagem.
- Elaborar mapa de formas cársticas.
- Elaborar mapa de áreas de recarga e de descarga e de inversão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O domínio do conhecimento teórico conceitual é extremamente fundamental, pois sem ele corre-se o risco de se desprezar dados que á princípio não signifiquem nada, mas que na realidade influem consideravelmente no objetivo final, **Ross** (1990), no âmbito da pesquisa geomorfológica, os dados de natureza morfométrica como declividade das vertentes, níveis altimétricos, densidades de drenagem, níveis de entalhamento dos canais de drenagem são extremamente importantes para a interpretação dinâmica das formas do relevo.

Carlston (1965), observou que a transmissibilidade (medida da permeabilidade no terreno) aumenta quando a densidade drenagem diminui, e a transmissibilidade diminui quando a densidade de drenagem aumenta, e concluiu em seu trabalho, que “ a densidade de drenagem, o escoamento pluvial superficial e o movimento da água subterrânea são partes de um único sistema hidrológico controlado pela transmissibilidade de bedrock, e de seu regolito.

A análise morfométrica de uma bacia de drenagem permite entender melhor o funcionamento de uma determinada bacia e seu comportamento em relação a outras.

Dispondo-se assim, de uma ferramenta a mais de análise que facilita a obtenção de dados objetivos para compreender melhor as relações de processos - formas, permitindo sua comparação com outras bacias de formas objetiva, contudo, a margem de concepções ou interpretações subjetivas.

Para **Canali e Fiori** (1987), a análise morfométrica da rede de drenagem “consiste no estudo analítico de índices e parâmetros de elemento componentes da rede de canais de drenagem, segundo princípios e leis da sua constituição, afim de verificar o grau de consistência em relação aos fatores determinantes responsáveis pela sua estruturação”.

Morisawa (1968), in **Christofoletti** (1980), dá a seguinte definição para o estado de equilíbrio de rio: “um rio equilibrado é aquele que atingiu o estado de estabilidade de modo que, sobre determinado período de tempo, a água e a recarga detrítica que entram no sistema são compensadas pelas que dele saem.

O estado de estabilidade é atingido e mantido pela interação mútua das características do canal, tais como declividade, forma do perfil transversal, rugosidade e padrão do canal, ele é um sistema auto-regulador; qualquer alteração nos fatores controladores causará um deslocamento em certa direção que tenderá a absorver o efeito de mudança”.

Christofolletti (1990), ao falar sobre sistemas ambientais, considera que as feições topográficas e os processos morfogenéticos atuantes em uma determinada área possuem papel relevante para as categorias de uso do solo, tanto nas atividades agrícolas como nas urbanos-industriais. A potencialidade aplicativa do conhecimento geomorfológico insere-se portanto, no diagnóstico das condições ambientais, contribuindo para orientar a alocação e o assentamento das atividades humanas.

Para **Teixeira** (1992), “ O levantamento de dados através das pesquisas de campo exige constantes viagens e a utilização de equipamentos apropriados, conforme o fenômeno que está sendo pesquisado e o tipo de informação que se deseja. Essas pesquisas servem também para checar e fornecer guias para a interpretação de fotos aéreas e imagens de sensoriamento remoto.”

Machado (1983) faz uma abordagem sobre as análises morfométricas que “são extremamente úteis operacionalmente e as leis da composição da drenagem constituem parâmetros importantes para se caracterizar a estruturação de bacias hidrográficas e se elementos para uma interpretação geomorfológica mais apurada de uma ou várias áreas.

Cassetti (1991), inclui o estudo do relevo como um dos elementos do Geossistema, tal como concebido por Bertran (1968), que incorpora os diferentes subsistemas; Litosfera, Atmosfera e Hidrosfera, no “Potencial Ecológico” (relevo, clima e hidrografia), enquanto que a Biosfera vincula-se a exploração Biológica” (vegetação, solo e fauna). Para Bertran op. Cit., estes subsistemas estão interligados de forma dinâmica. Assim, a ocupação de determinada vertente ou parcela do relevo, seja como suporte ou como recurso, responde por transformações do estado primitivo, envolvendo desmatamento, cortes e demais

atividades que provocam as alterações da exploração biológica e se refletem diretamente no potencial ecológico.

Com relação ao sistema subterrâneo, **Kresic** (1992), descreve que um sistema hidrogeológico cárstico externo, caracteriza-se pelas entradas principais do sistema como a infiltração de precipitação, o desaparecimento de drenagens superficiais, drenagem de outros aquíferos vizinhos e recarga artificial; as saídas mais comuns seriam a evapotranspiração, a descarga para as drenagens superficiais ou para outros aquíferos e a descarga de fontes.

Na descrição interna, a estrutura do sistema está relacionada, freqüentemente, ao tipo e grau da porosidade do aquífero.

No Brasil, as regiões cársticas representam, segundo estimativas preliminar de **Karmann** (1989), aproximadamente 5 a 7 % do total da área do território nacional.

Segundo **Sanchez** (1992), a construção de modelos cársticos consistentes com a teoria geral dos sistemas possibilita a utilização de várias técnicas no entendimento do mecanismo de funcionamento do carste, principalmente para análises de correlação entre entradas (inputs) e saídas (outputs) do sistema.

Na área de hidrogeologia cárstica, ressalta-se os trabalhos de **Silva** (1984^a) e **Guerra** (1986), nos terrenos carbonáticos do Grupo Bambuí em Minas Gerais e Bahia, respectivamente.

No Paraná, destacam-se os estudos geológicos realizados principalmente nas décadas de 50 e 60 por **Bigarella**, (1953) e **Bigarella & Salamuni** (1958 a e b, entre outros), nas faixas carbonáticas da porção sudeste do Estado do Paraná.

Silva (1991 e 1996), Identificou e mapeou as formas cársticas, nas regiões de Alm. Tamandaré, Itaperuçu, Rio Branco do Sul e Colombo no Paraná. E, definiu as formas cársticas, através de análises geomorfológicas, sendo como base para o gerenciamento do uso do manancial subterrâneo.

Lisboa (1992), introduziu o conceito de células morfoestruturais, limitadas por cristas filíticas e quartzíticas de direção NE e diques de diabásio de direção NW.

De acordo com **Lisboa** (1997), as unidades se repetem na paisagem num padrão tipicamente losangular, constituindo cada losango uma unidade semelhante às demais. Os compartimentos assim gerados adquirem porém comportamento hidráulico e condições de fluxo diferenciados e independentes.

2.1. CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DA BACIA DO RIBEIRÃO DA ONÇA

A fisiografia da região aqui considerada, está de tal modo subordinada às estruturas geológicas e a litologia do Grupo Açungui, que se torna imprescindível um apanhado de conjunto da geologia para a interpretação das formas de superfícies.

Nas áreas de calcários, verifica-se uma topografia “cárstica” bem caracterizada, sendo notável a quantidade de dolinas provenientes da dissolução das rochas carbonatadas.

Os pontos culminantes do relevo relativo às rochas do Grupo Açungui, no âmbito da área de pesquisa, estão via de regra condicionadas as cristas de filitos, quartzitos e diques de diabásio.

A morfologia do terreno, contrariamente ao que acontece nas áreas onde afloram as outras formações do Grupo Açungui, é suave, salientando-se apenas em alguns pontos, pequenas elevações rochosas com feições cársticas.

Quanto aos aspectos fisiográficos, na paisagem observa-se uma rápida transformação ocorrendo a desnudação das áreas cobertas por bracatinga dando lugar as plantações de hortaliças, que além de receber excessivas doses de organo-clorados e exigem maior demanda de água dos recursos de superfície para irrigação.

2.2. GEOLOGIA

A região estudada no que se refere ao contexto geológico regional, está inserida no Leste paranaense, abrangendo a porção sul do Cinturão Ribeira **Cordani & Brito Neves** (1982) ou o segmento sul-sudeste brasileiro da Faixa Dobrada Apiaí **Hasui et alii** (1975). O Cinturão Ribeira, no Paraná, caracteriza-se por um conjunto de rochas pertencentes, em sua maioria, ao Complexo Gnáissico-Migmatítico (Arqueano), ao Complexo Pré-Setuva (Proterozóico Inferior a Médio), ao Grupo Setuva (Proterozóico Inferior a Médio), ao Grupo Açungui (Proterozóico Superior), bem como por uma série de intrusões granitóides (Proterozóico-Eopaleozóico), todas seccionados por um espetacular enxame de diques básicos da Formação Serra Geral (Mesozóico), localmente recobertos por sedimentos Pleistocênos da Formação Guabirotuba sedimentos inconsolidados Recentes (Cenozóico).

2.2.1. Principais Unidades Geológicas na Área de Estudo

2.2.1.1. Complexo Gnáissico-Migmatítico

O Complexo Gnáissico-Migmatítico, também denominado de Complexo Costeiro, estende-se ao longo de uma faixa com direção NE, ao sul da região em estudo. De acordo com **Melo et alii** (1980), essa faixa de rochas gnáissico-migmatíticas situa-se entre as rochas do Grupo Setuva e Grupo Açungui a noroeste (com as quais o contato é por falha e, em parte, concordante) e os maciços graníticos da Serra do Mar a sudeste (com os quais o contato é discordante e por falhas). As rochas deste complexo apresentam granulação média a grosseira, com alternância de bandas escuras e claras, textura granolepidoblástica e xenoblástica, constituídas mineralogicamente por quartzo,

feldspato potássico, plagioclásio, biotita, hornblenda e, secundariamente, por diopsídio e granadas.

2.2.1.2. Grupo Açungui

Historicamente, os metassedimentos do Grupo Açungui foram designados como “Série Assunguy” por **Oliveira** (1927). **Bigarella & Salamuni** (1956, 1958 a,b) subdividiram a série em formações Setuva, Capiru e Votuverava, da base para o topo. **Almeida** (1956) definiu a Formação Itaiacoca, sendo esta correlacionada à Formação Capiru por **Bigarella & Salamuni** (1958a) e **Marini et alii** (1967). Contudo os estromatólitos descritos nas duas formações apresentam diferenças (**Fairchild**, 1982), sugerindo a manutenção das mesmas como unidades independentes. Em 1967, **Marini et alii** (1967) elevou a série à categoria de grupo. **Marini** (1970) e **Fuck et alii** (1971) posicionaram a Formação Setuva em um nível estratigráfico inferior ao do Grupo Açungui. Dessa forma, o referido grupo ficou subdividido em formações Capiru, Itaiacoca e Votuverava.

Em trabalho posterior, **Soares** (1987) referiu-se ao Grupo Açungui como Complexo Votuverava-Itaiacoca-Capiru, subdividindo-o em associações litológicas dispostas nos sinclínios Capiru (metareno-pelito, metapelito dolomítico, metapelito), Votuverava (metarenito grosseiro, metacalcário, metarenito, metadolomito, metarritmito) e Itaiacoca (metapelito, metacalcário dolomítico, metavulcânica, metarenito feldspático).

Fiori (1990, 1992), além de denominar de “formação” a Seqüência Antinha **Dias & Salazar jr.**(1987), colocando-a em posição estratigráfica superior às formações Capiru, Votuverava e Itaiacoca, subdividiu o Grupo Açungui em seqüências dispostas em três blocos tectônicos (blocos C, D e E) .

Posteriormente, estas mesmas seqüências foram designadas de conjuntos litológicos **Fiori & Gaspar**,(1993), com a seguinte distribuição: no bloco C estão presentes os conjuntos Vuturuvu (metarritmitos arenosos, níveis de metaconglomerados, metassiltitos, quartzitos e metargilitos), Capivara (metacalcários calcíticos, geralmente rítmicos e de coloração cinza-escuro) e

Tacaniça (metarritmitos silticos cinza, com intercalações de metassiltitos arenosos e metarritmitos siltico-arenosos, metarenitos e metaconglomerados), todos relacionados à Formação Antinha; no bloco D, estão presentes os conjuntos Saivá (filitos, metarritmitos, mármore e metamargas), Coloninha (metarenitos, metassiltitos, metarritmitos e metaconglomerados) e Bromado (filitos, quartzitos e metaconglomerados polimíticos), correlacionados à Formação Votuverava e, no bloco E, ocorrem os conjuntos Morro Grande (alternância de bancos ou camadas de quartzitos, filitos e mármore), Rio Branco (mármore e/ou metacalcários e suas intercalações de filitos e quartzitos) e Juruqui (filitos avermelhados, com intercalações de filitos e quartzitos), associados à Formação Capiú.

Os eventos deformacionais citados anteriormente podem ser correlacionados ao Sistema de Cavalgamento Açungui, Sistema de Dobramento Apiaí e Sistema Transcorrente da Lancinha, descritos por **Fiori** (1990).

Os metassedimentos e metavulcânicas do Grupo Açungui apresentam uma tectônica deformadora caracterizada por um sistema de cavalgamento, grandes dobramentos e falhas transcorrentes.

2.2.1.3. Formação Capiú

A Formação Capiú aflora na porção sudeste do Grupo Açungui e é composta, predominantemente, por metadolomitos, filitos e quartzitos e, secundariamente, por filitos grafitosos, metassiltitos e metamargas. Os quartzitos apresentam-se em camadas métricas com gradações para filitos e às vezes para filitos carbonosos. Podem formar lentes intercaladas nos pacotes de metadolomitos e de filitos. As rochas metacarbonáticas ocorrem em espessos corpos lenticulares e são geralmente maciças, às vezes silicosas, pouco deformadas internamente e com estruturas estromatolíticas originadas por algas do gênero *Collenia* (descritas por **Bigarella & Salamuni**, 1958a; **Fairchild**, (1982). Os filitos e outros sedimentos siltico-argilosos distribuem-se em pacotes espessos, contendo às vezes, camadas finas de hematita e/ou grafita e também

estruturas sedimentares preservadas (estratificação cruzada, marcas onduladas, acamamento gradacional).

Na Formação Capiirú, os litotipos apresentam-se em sua maioria lenticularizados, devido a deformações impostas sob cisalhamento dúctil-rúptil, de baixo ângulo, contínua e homogênea nas litologias siltico-argilosas, com neocristalização, principalmente de sericita e clorita. Nos outros tipos rochosos, essa deformação foi descontínua e heterogênea, apresentando preservação de estruturas sedimentares mecânicas e organógenas em locais pouco deformados.

O metamorfismo regional associado é de fácies xisto verde, zona da clorita a início da zona da biotita, com presença de paragêneses indicando temperaturas de até 450°C e pressões de até 4 kbar. O evento tectônico posterior ocasionou uma deformação rúptil-dúctil descontínua compressiva (dobramento vertical associado), em condições máximas de fácies xisto verde, zona da clorita, sendo a Falha da Lancinha a principal estrutura formada. Como último evento, ocorre uma deformação descontínua, distensional, sem metamorfismo associado **Soares, (1987).**

A foliação principal, predominantemente desenvolvida nos metassiltitos e filitos, apresenta-se geralmente paralela ou subparalela a níveis de diferente composição, interpretados como acamamento sedimentar. Essa foliação, relacionada a uma tectônica de cavalgamento, sofreu deformação por dobramento heterogêneo. Como resultado, ocorreu a geração de uma segunda foliação (clivagem de crenulação), não havendo, na maior parte das rochas, cristalização e/ou recristalização de minerais **Reis Neto & Soares, (1987).**

Os principais conjuntos litológicos da Formação Capiiru, separados por falhas de cavalgamento e expostos em sinformes e antiformes com eixos na direção NE-SW, estão representados, na seção geológica do O contato desses conjuntos com seu embasamento é caracterizado por uma extensa faixa de milonitos e cataclasitos.

2.2.1.4. Formação Guabirotuba

Os sedimentos da Bacia de Curitiba, excetuando-se os depósitos aluvionares recentes, constituem a Formação Guabirotuba, a qual teria sido depositada durante o Pleistoceno Superior, num ambiente de amplos vales com canais anastomosados. a área de abrangência da Formação. Guabirotuba é de 900 km², em sua maior parte no município de Curitiba, estendendo-se também para os demais município de sua região metropolitana, com espessuras máximas da ordem de 60 a 80 m na porção central da Bacia de Curitiba.

Os contornos atuais da bacia de Curitiba, apresentam um desenvolvimento assimétrico, com o bordo norte de forma retilínea, paralelo ao contato do Complexo Gnaíssico-Migmatítico com o grupo Açungui, indicando uma maior intensidade dos processos erosivos neste setor, **Bigarella & Salamuni** (1958a).

Segundo esses autores são sedimentos constituídos predominantemente por camadas de argilas montmoriloníticas, entremeadas por lentes arcossianas, eventualmente quartzosas, em discordância com as rochas do Complexo Gnaíssico-Migmatítico e com as rochas das unidades proterozóicas. Os arcósios estão dispostos em corpos de distribuição espacial irregular sob o formato de lentes. Estas lentes possuem espessuras centimétricas a métricas e repetem-se verticalmente de maneira irregular. resultados de várias análises granulométricas de amostras de superfície realizadas, confirmam a predominância da fração argilosa sobre a fração arenosa. Com referência ao material arenoso, predomina a fração grossa, na faixa de 57 %, enquanto cerca de 37% apresentam diâmetro médio correspondente a areia média e apenas 6 % areia fina.

As maiores espessura de arcóseo, e portanto a de maior interesse hidrogeológico, estão localizada na bacia do rio Iraí, a Nordeste da Região Metropolitana de Curitiba, nas proximidades do Parque de Exposição Castelo Branco, no município de Pinhais -PR.

Na região em apreço, percebe-se através dos perfis litológicos, que as camadas arenosas intercaladas nos sedimentos pelíticos apresentam variações

quanto a espessura mas ocorrem de forma relativamente contínua. A espessura máxima da Formação Guabirotuba, nesta área, atinge 80 m, sendo que as camadas arenosas, depositadas na parte basal da formação, apresentam, via de regra, espessuras que variam de 4 a 18 m.

2.2.1.5. Aluviões

O último registro geológico na área analisada refere-se a sedimentos recentes depositados ao longo das principais drenagens da região. São sedimentos areno-argilosos com intercalação de níveis conglomeráticos de seixos, inconsolidados, de espessura variável.

Os depósitos aluvionares são formados nas várzeas dos rios, principalmente do rio Barigüi. Sua ocorrência, corresponde as áreas abatidas por carstificação, sendo comum espessuras nestes locais de até 10 metros.

Os sedimentos depositados são de origem aluvionar e ou coluvial, capeando estruturas cársticas como dolinas e uvalas, as quais são preenchidas por material residual.

Por se situarem preferencialmente na área de planície de inundação das principais drenagens, são capeados por solo orgânico de cor escura de aspecto turfoso.

A deposição diretamente sobre as formas cársticas, possibilitando movimentação para o seu interior, bem como a presença de argilas saturadas em água pelo nível freático, tornam estas áreas altamente instáveis do ponto de vista geotécnico. Ocorrem constantes movimentações devido a oscilação do freático e conseqüente adensamento das argilas, e ou por perdas de material para o aparelho cárstico, **Bigarella & Salamuni (1958a)**.

2.2.2. Comentário Sobre a Evolução Geológica

No presente estudo, o Grupo Açungui (em especial a Formação Capiru) é a unidade geológica de maior interesse por estar diferenciada das demais, pela presença dos pacotes carbonáticos

A história geológica das rochas do Grupo Açungui na região em estudo, iniciou-se com a implantação da bacia Açungui sobre uma margem litosférica adelgada, resultante de um evento de estiramento litosférico continental, em torno de 1000 a 800 Ma **Soares**,(1987), no Proterozóico Superior. Constitui uma bacia marginal, do tipo retroarco, estando, originalmente, o continente a sudeste (Embasamento Cristalino) e o arco magmático (batólitos graníticos Cunhaporanga e Três Córregos) a noroeste (**Soares**, 1987; **Fiori**, 1990).

Na porção sudeste da bacia, junto à margem continental, depositaram-se sedimentos carbonáticos (Formação Capiru) em condições variáveis de mar raso, sujeitos à ação de ondas com freqüentes estruturas estromatolíticas algáceas, fendas de ressecamento, estratificação cruzada e níveis oolíticos e pisolíticos **Fiori**, (1990).

As extensas colônias de algas marinhas (biohermas) que originaram as estruturas estromatolíticas são representantes da intensa atividade biológica nesse período, assim como o carbono orgânico que deu uma pigmentação mais escura às rochas carbonáticas.

As algas, ao realizarem o processo de fotossíntese, consumiam CO₂ da água elevando o pH e ocasionando a precipitação dos carbonatos através da seguinte reação:



Os dolomitos teriam sido formados logo após a deposição, porém antes da litificação dos sedimentos carbonáticos, por processos de dolomitização. Alguns autores como **Marini** (1971), admitem para essas rochas uma precipitação primária de dolomita ou uma dolomitização concomitante à sedimentação, devido a grande uniformidade de composição química e a grande espessura dos dolomitos.

As estruturas estromatolíticas algáceas, segundo **Marini & Bosio** (1969), “são características de regiões de intermaré de praias abertas onde a movimentação da água ou inibe o crescimento de ligações laterais entre as estruturas ou as remove logo após a sua formação”.

A lenta subsidência da bacia, devido às condições de grande estabilidade tectônica, propiciou a formação de espessos pacotes carbonáticos. Dessa forma, a medida que os biohermas cresciam e subsidiam lentamente, as algas permaneciam em águas rasas, límpidas, quentes e com boa iluminação (requisito indispensável para a fotossíntese), favorecendo seu desenvolvimento.

As freqüentes intercalações de quartzitos e filitos nos metadolomitos estariam relacionadas a mudanças do nível do mar **Fiori & Gaspar**, (1993), com desenvolvimento de depósitos plataformais carbonáticos em períodos de nível do mar alto e, nos períodos de nível baixo, ocorreria a progradação da sedimentação terrígena, desde uma sedimentação litorânea praial, passando pelos depósitos carbonáticos, até depósitos plataformais e bacinais pelíticos.

A presença de estruturas pisolíticas-oolíticas e de estratificação cruzada em depósitos carbonáticos não fossilíferos indica que esses depósitos poderiam ter-se formado durante os períodos de mar baixo, devido a ação mecânica de ondas sobre os biohermas ou pela autobrechação dos sedimentos por ressecamento. Os detritos originados por esses processos seriam redepositados nas imediações dos biohermas, constituindo depósitos essencialmente clásticos **Fiori & Gaspar**, (1993).

O fechamento da bacia ocorreu por volta de 650-700 Ma. Inicialmente, toda a bacia foi submetida a um intenso tectonismo representado por grandes cavalgamentos, reflexo da colisão continente-arco-continente **Fiori**, (1994). Depois, com a bacia retroarco já fechada, no estágio final da colisão continente-continente, para o ajuste das saliências e reentrâncias dos blocos continentais em colisão, ocorreram dobramentos, falhamentos transcorrentes e/ou rotação de blocos com movimentos horizontais nas zonas de falhas paralelas à sutura. A principal falha transcorrente é a da Lancinha, com associação de falhas sintéticas (N60-80°E), antitéticas (N0-20°W) e empurrões e dobras (N30-40°E) **Soares**,

(1987). Contemporaneamente à movimentação das falhas transcorrentes houve a intrusão de corpos graníticos alojados em dobras escalonadas, com idades em torno de 550 Ma, **Fiori** (1994).

Dessa forma, os sedimentos carbonáticos já litificados pela diagênese foram nesse período do final do Proterozóico ao início do Paleozóico, metamorforizados, recristalizados, dobrados e falhados. Os fraturamentos associados, principalmente, ao evento tectônico responsável pela formação da falha da Lancinha, desenvolveram algumas das direções mais significativas de geração de condutos e canais do sistema hidrogeológico cárstico.

Após essa fase de intensa atividade tectono-magmática, a região estabilizou-se no Siluriano ou no Devoniano Inferior, tornando-se uma área cratônica, recoberta pelos sedimentos da Bacia do Paraná **Soares**, (1987).

No Mesozóico, a região foi novamente afetada por fenômenos tectônicos e magmáticos, que promoveram a intrusão de um enxame de diques básicos e o soerguimento da região. Devido a esses fenômenos houve uma reativação das falhas pré-cambrianas, de direção preferencial NE e formação de outras, de direção preferencial NW.

O soerguimento tectônico registrado no Mesozóico (Cretáceo Médio) desencadeou o processo de remoção das rochas metassedimentares do Grupo Açungui na região, com a formação no Terciário (Plioceno Inferior) de um nível definido de erosão, representado pelo nivelamento de cristas quartzíticas e filíticas com cotas variando entre 1000 e 1200 m. A superfície formada por esse nivelamento foi designada por **Bigarella et alii** (1965) de Pd₂ ou Superfície Residual do Alto Iguaçu. Esse mesmo controle tectônico estabeleceu as grandes bacias hidrográficas, Atlântica e Paraná, que drenam a região. A primeira é caracterizada pelo rio Ribeira de Iguaçu e seus afluentes e a segunda pelo rio Iguaçu e seus afluentes.

Os sistemas fluviais da bacia Atlântica são geologicamente recentes, contrastando com os rios da bacia do Paraná, geologicamente mais antigos. Devido a proximidade do oceano como nível de base de erosão, o rio Ribeira e

seus afluentes entalharam profundamente a região montanhosa da parte norte do primeiro planalto, em consequência de sua força de erosão **Maack**, (1968).

A capacidade de entalhamento do Ribeira, promovendo uma construção de relevo acelerada, pode ser melhor entendida, na medida que associamos aos processos erosivos o consumo das massas carbonática (mármore do Grupo Açungui) através da dissolução, e conseqüente incremento do grau de degradação.

No Quaternário, a região foi afetada por movimentos verticais em função de compensações isostáticas. Nos metadolomitos e metacalcários da área em estudo, o desenvolvimento da paisagem fluvial permitiu a implantação da fase de iniciação da formação de canais e cavernas.

A sub-região Montanhosa do Açungui, apesar de apresentar-se com menor energia de relevo, se estende pela bacia do Iguaçu na afluência norte, até a linha de contato com o complexo Gnaissico Migmatítico, demonstrando uma correlação nítida entre litologia e modelado do relevo.

A assimetria, do bordo norte da bacia de Curitiba, e a existência de afloramentos isolados desta formação sobre o Grupo Açungui (especialmente no município de Campo Largo), sugere a ampliação de sua área de abrangência, durante o Quaternário até o limite norte da afluência do rio Iguaçu.

Tal evidência, assume papel significativo, na evolução histórica dos processos de carstificação nesta área, indicando seu início após a remoção destes sedimentos por processos erosivos. A ausência desta cobertura sedimentar sobre a bacia do Ribeira, ampliando o período de atuação dos processos da carstificação, justifica o maior o seu maior desenvolvimento, denotado pelo entalhamento intenso da drenagem e pela maior energia de relevo.

2.3. CLIMA

A região sul do Brasil possui uma das mais uniformes pluviosidades e de maior grau de unidade climática. Segundo **Nimer** (1977), a uniformidade é expressa pelo domínio do clima mesotérmico sempre úmido, sem estação seca e a umidade pelo ritmo climático, característicos de regiões temperadas.

Na costa sul do Brasil, a acentuada amplitude topográfica, a orientação do relevo e a proximidade do oceano condicionam substancialmente o clima. As principais influências ocorrem na temperatura, na redução da amplitude térmica diária e anual, no aumento da umidade relativa do ar e na quantidade de chuva **IAPAR** (1994).

Os centros de ação atmosférica que atuam no Brasil Meridional são os anticiclones subtropicais do Atlântico e do Pacífico, o anticiclone migratório Polar e o centro de baixa pressão, denominada Depressão do Chaco **Maack** (1968).

Conforme **Maack** (1968), o anticiclone do Pacífico é de pouca interferência para a região sul-brasileira. Apenas ocasionalmente, no inverno, devido à sua posição mais meridional, próxima ao centro Migratório Polar, acentua-se a frontogênese na Frente Polar Pacífica. Esse fenômeno aumenta o acúmulo de ar frio no setor Atlântico, reforçando a Frente Polar Atlântica.

A área da Serra do Mar, no Paraná, é controlada, na maior parte do ano, pelo anticiclone do Atlântico Sul, que se caracteriza por as subsistente, divergente e límpido. Nele se originam os ventos alísios de SE-E e de NE-NW, que iniciam sobre o litoral brasileiro. **ITCF** (1990).

Segundo **Maack** (1968) e técnicos do **IAPAR** (1994) o anticiclone Migratório Polar desenvolve-se em latitudes subpolares pelo acúmulo de ar oriundo dos turbulões polares sobre os oceanos. Bifurca-se em duas frentes: Polar Atlântica e Polar Pacífica, o que ocorre principalmente pela presença dos Andes, barreira orográfica que se estende no sentido norte-sul.

A Depressão do Chaco constitui o mais notável dos centros negativos da América do Sul, sendo comumente interpretado como um centro de origem

térmica por se definir especialmente no verão. Está ligado à dinâmica ondulatória da Frente Polar Atlântica e tem fundamental importância na atração dos sistemas intertropicais para o sul **Maack** (1968).

Na costa sul brasileira, várias massas exercem, de alguma maneira, influência nas condições de tempo, dentre as quais destacam-se: Tropical Atlântica, Tropical Continental, Equatorial Continental, Polar Pacífica e Polar Atlântica. A massa Tropical Atlântica individualiza-se no centro do anticiclone do Atlântico Sul. Em sua origem, é quente e úmida, com tendência à estabilidade pela subsidência superior das células de altas pressões. Dá origem aos chamados alísios de retorno, que sopram de NE para SW. Tem grande capacidade de penetração no interior do continente e possui uma inversão térmica que oscila em altitude: no inverno mais alta e no verão mais baixa **Maack** (1968).

A massa Tropical Continental é mais restrita ao verão, quando a Depressão do Chaco, dinamizada pela Frente Polar Atlântica, se superpõe a uma bolsa de ar fria. Assim, o ar quente e seco da planície central do continente, dotada de subsidência superior pela importância de ar frio, torna-se dotada de movimento divergente. Forma-se a leste dos Andes e ao sul do Trópico de Capricórnio, numa região estreita, quente e árida **IAPAR** (1994).

A massa Equatorial Continental se forma na planície amazônica e no interior quente do continente, ao norte do Trópico, atingindo à vezes as serras costeiras do Brasil. É uma massa quente, de elevada umidade específica. O encontro dessa massa com a Tropical Continental nas áreas de movimentos ciclônicos da Baixa Térmica produz violenta ascensão da massa equatorial sobre a tropical, com subsequente desenvolvimento das abundantes nuvens convectivas e fortes aguaceiras **Maack** (1968).

As massas polares, geralmente marítimas e frias, originam-se sobre a corrente marítima Antártica, nos oceanos Atlântico e Pacífico e em geral, principalmente no verão, a massa Polar Pacífica penetra no continente mais ao sul, apresentando corrente de SW que podem seguir dois rumos: num deles, sobre as planícies patagônicas e dos pampas, não sofre grandes modificações; no

outro, mais a leste, sobre as águas frias da corrente das Malvinas, as massas tornam-se instáveis, com aumento de temperatura e umidade **Maack** (1968).

A massa Polar Atlântica, com temperatura relativamente baixa, é acompanhada de um anticiclone frio que se dirige para o anticiclone Subtropical atlântico, reativando-o com frequência, dirigindo-se para a costa montanhosa do Brasil, chegando no inverno até os 10° latitude sul e, no verão, até os 20°. Devido a aumentos de temperatura e umidade adquiridos sobre a corrente quente do Brasil, as massas tornam-se acentuadamente mais instáveis quanto maior for o percurso sobre o mar. No inverno, o anticiclone frio que acompanha a massa Polar Atlântica suaviza a instabilidade. No verão, essa massa possui espessura vertical reduzida, o que a impede, freqüentemente, de transportar as serras costeiras **IAPAR** (1994).

2.3.1. Caracterização Climática Local

A região metropolitana de Curitiba encontra-se no domínio climático **Cfb** de **Köppen** (1948). O tipo **C** (mesotérmico) indica que a temperatura média do mês mais frio está entre - 3° C e 18° C . o subtipo **b** significa que a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22° C. a letra **f** da classificação de **Köppen** (1948), indica serem as regularmente distribuídas, apesar do mês mais chuvoso ser apenas até seis vezes o mês seco.

O tipo climático da região estudada, segundo **Maack** (1968) é classificado como **Cfb** de **Koeppen** (1948), onde **C** indica climas pluviais temperados, com mês mais frio possuindo temperatura entre + 18° e - 3° C; **f** indica sempre úmido e chuva em todos os meses do ano; **b** representa a temperatura do mês mais quente menos de 22° C, mas no mínimo quatro meses mais de 10° C.

De acordo com cartas climáticas básicas do Estado do Paraná **IAPAR** (1978), a média anual das temperaturas mínimas da região oscila entre 11° e 12° C, enquanto que a média anual das máximas fica entre 23° e 24° C. A média

anual global está em torno de 16° e 17° C. O trimestre menos chuvoso (Junho-Julho-Agosto) apresenta precipitação entre 250 à 300 mm e o mais chuvoso (Dezembro - Janeiro - Fevereiro) com precipitação pluviométrica entre 600 e 700 mm/ano.

A precipitação anual média da região é de 1.400 mm, variando de um mínimo de 800 mm à um máximo de 2.000 mm/ano, correspondendo a anos de estiagem e anos mais chuvosos respectivamente.

Segundo **Lladó** (1970), nas regiões carbonáticas com precipitações superiores a 1000 mm/ano, o processo de carstificação apresenta elevada atividade. Naquelas regiões com precipitações da ordem de 600 a 400 mm/ano, a circulação hídrica, muitas vezes, possui um caráter intermitente, fazendo com que os fenômenos cársticos tenham atividade reduzida. Por fim, nas áreas muito secas, com precipitações inferiores a 200 mm/ano, a circulação hídrica é praticamente nula, ocorrendo elementos cársticos mortos, desenvolvidos em épocas de maior atividade hídrica. Pode-se admitir, então, com certeza, a existência de episódios de carstificação gerados por ciclos climáticos que tendem a aumentar ou diminuir consideravelmente o volume de água que se infiltra e que circula pelos condutos cársticos.

O balanço hídrico anual normalmente, será positivo, isto é, com superavit d'água, estando este disponível para recarga dos aquíferos, e muitas vezes com sobras significativas correspondendo aos anos das grandes enchentes, conforme Histograma (Gráfico. 1).

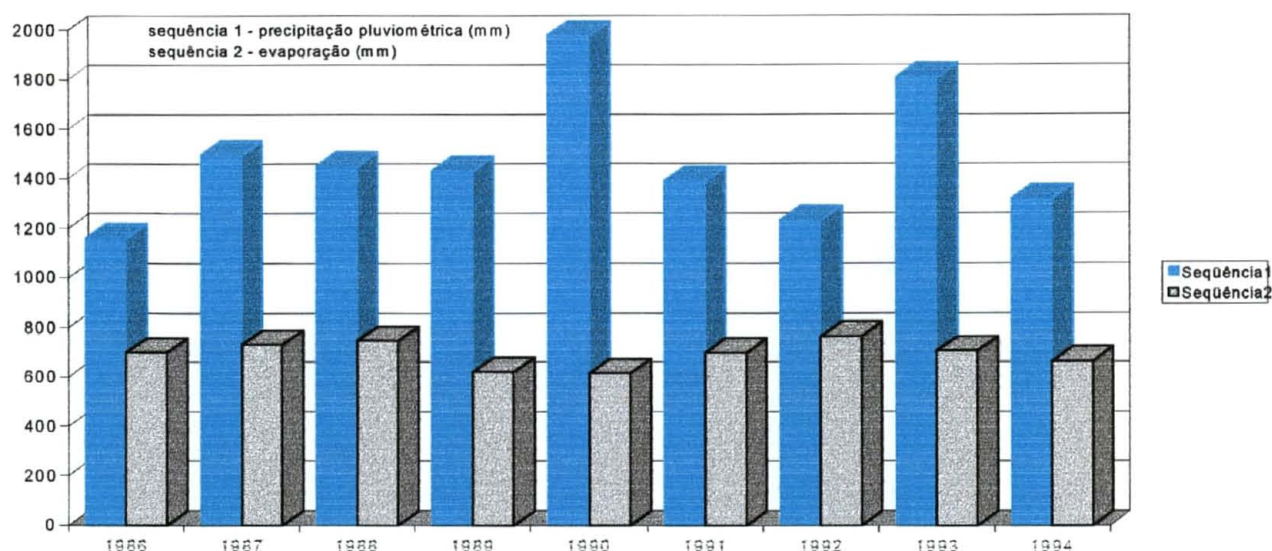


Gráfico 1. Histograma mostrando a diferença hídrica anual entre precipitação e evapotranspiração anual (estações Juquiri e Colombo, período, 1986 - 1994), SUDERHSA (1997).

2.3.2. Influência do Clima na Carstificação

Os elementos fisioclimáticos influenciam diretamente o funcionamento do sistema hidrogeológico cárstico, controlando a principal entrada (*input*) do sistema, a precipitação. A parcela de água precipitada que efetivamente se infiltra e se transforma na recarga do aquífero cárstico depende do processo de interceptação vegetal e dos solos, que provocam diferentes índices de infiltração e, conseqüentemente, variações no volume armazenado. O poder de dissolução da água circulante pelo sistema, que permite a geração de feições cársticas típicas de superfície e subsuperfície, também é controlado pela presença de vegetação, de solos ácidos e pela temperatura.

O desenvolvimento dos fenômenos cársticos é condicionado pelo clima, pois, enquanto existir circulação hídrica, que depende diretamente do clima, ocorrerá a dissolução da rocha carbonática.

A importância dos fatores climáticos não se restringe somente em fornecer a água que agirá como solvente no desenvolvimento da carstificação,

mas também promover o crescimento da vegetação e a atividade microbiana do solo que adicionarão uma quantidade extra de CO_2 ao sistema **Summerfield** (1994). Dentre os fatores climáticos, a precipitação fornece o volume de água necessário para que possa ocorrer a dissolução da rocha, sendo o regime das chuvas tão importante quanto sua abundância. Portanto, nas áreas carbonáticas sob a influência de clima úmido, as feições cársticas apresentam-se bem desenvolvidas.

A presença de vegetação nessas áreas propicia um aumento do conteúdo de CO_2 no solo, através da respiração das raízes das plantas e da decomposição da matéria orgânica, influenciando diretamente a acidez da água e, conseqüentemente, seu poder de dissolução. Já nas regiões com clima árido e semi-árido as feições apresentam-se ausentes ou pobremente desenvolvidas, podendo ser feições reliquiais de épocas climáticas mais úmidas, (Fig. 1).

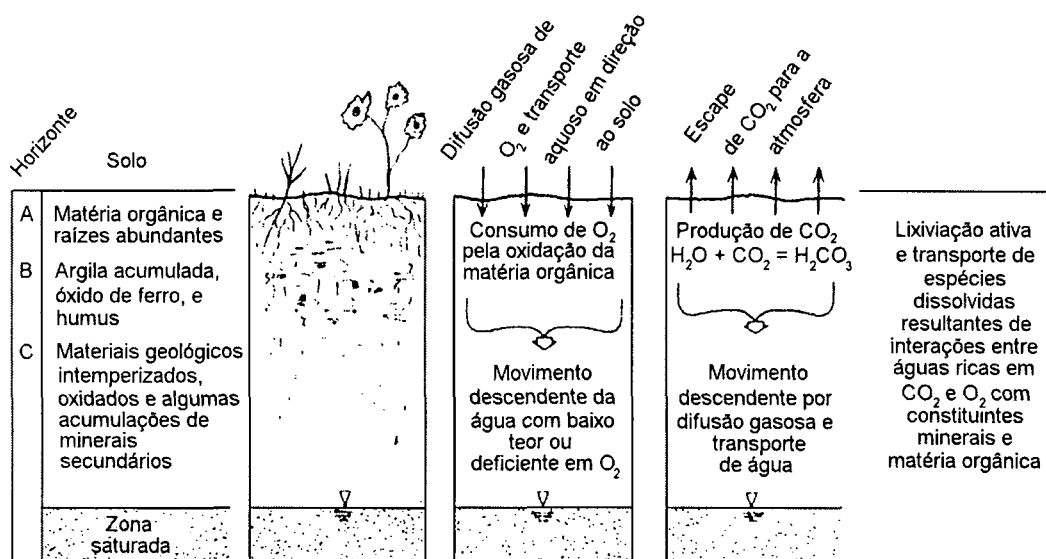


Fig. 1 . Resumo esquemático dos principais processos hidroquímicos nos solos de zonas de recarga. Adaptado de **Freeze e Cherry** (1979).

Outro elemento climático muito importante é a temperatura, pois ela faz variar o poder dissolvente da água. Essa variação é tal que os carstes localizados

em regiões com climas diferentes apresentam características distintas devido ao poder de dissolução diferente da água.

A temperatura é o fator físico controlador da solubilidade do CO_2 , sendo que a quantidade de CO_2 está na razão inversa da temperatura. Então, a água fria dissolve mais CO_2 que a água quente e, quanto maior a quantidade de CO_2 dissolvida, maior será a acidez e o poder dissolvente da água. Considerando-se a pressão de 1 atm, 1 litro de água pode dissolver a 25°C , 0,81 litros de CO_2 ; a 15°C , 1,0 litro de CO_2 ; e a 0°C , 2,15 litros de CO_2 **Lladó** (1970).

Para compensar a diminuição do CO_2 na água pelo aumento da temperatura, a solubilidade do bicarbonato de cálcio, que é o produto dissolvido e transportado pela água, aumenta. Portanto, os fenômenos de dissolução e desenvolvimento do processo de carstificação nos climas quentes são tão ativos quanto nos climas frios.

Christofolletti (1980), admite que a carstificação é mais rápida nas regiões úmidas que nas regiões secas, desde que os demais fatores sejam iguais, mas não está totalmente certo de que ela seja mais rápida nas regiões tropicais que nas regiões frias. Enquanto que **Lladó** (1970), demonstrou que a água de origem glacial dissolve maior quantidade de rocha carbonática que as águas de regiões temperadas ou tropicais, mas que o efeito da água quente na solubilidade do bicarbonato de cálcio propicia um desenvolvimento maior, principalmente, dos carstes tropicais em relação aos glaciais.

Para **Bigarella et al.** (1994), a carstificação é mais intensa nos trópicos do que nas regiões temperadas, não só devido às temperaturas mais elevadas nessas áreas, mas também devido a maior precipitação (1000 a 4000 mm anuais) que contribui com um volume muito grande de água para atuar nos processos de dissolução das rochas carbonáticas e também nos de erosão mecânica. Os valores elevados das temperaturas de regiões tropicais (20 a 25°C) em comparação aos das regiões temperadas (5 a 6°C) tornam a água muito mais fluida, facilitando sua infiltração pelas fraturas e interstícios da rocha. As águas tropicais também apresentam maior agressividade devido à presença de ácidos de origem orgânica e do CO_2 produzido pela intensa atividade bioquímica nos solos.

2.4. HIDROGRAFIA

2.4.1. Aspectos Regionais

O sistema hidrográfico do Estado do Paraná, acha-se dividido em dois grupos nitidamente distintos, diferenciados pela orientação e forma de deságua de seus componentes. O principal responsável por tal aspecto característico deste sistema fluvial, é a Serra do Mar, que atua como divisor d'água.

Segundo este ponto de vista, o aquífero está situado numa área abrangida por duas bacias , Bacia do Iguaçu e Bacia do Ribeira . Estas duas bacias por sua vez, fazem parte de duas unidades maiores, a nível de compartimentação regional, representadas pela bacia do Prata e bacia Litorânea respectivamente. Apesar de considerar-se a bacia hidrográfica como unidade básica para os estudos hídricos, impõe-se o aprimoramento conceitual deste modelo, através de compartimentação do meio físico segundo critérios Geológicos, os quais identificam com maior fidelidade situações hídricas próprias e distintas entre si, dentro de uma mesma bacia.

As unidades geológicas, em sua maior parte, não obedecem os limites da unidade bacia hídrica, condicionando portanto comportamento hídrico idênticos em bacia diferentes, apresentado através de mapa geológico com divisores de bacia, (Fig. 2).

2.4.2. Hidrografia da porção norte da Região Metropolitana de Curitiba

O principal curso d'água superficial da região é representado pelo rio Capivari, sendo que sua bacia abrange grande parte da área (aprox. 70%), o restante esta contido nas bacias dos rios Palmital, Barigui e Atuba, sub-bacias da Bacia do Iguaçu.

O limite sul do aquífero é materializado pela linha de contato, de direção aproximada NE-SW, do complexo metamórfico com o embasamento cristalino.

Pela ausência neste último de massas carbonáticas solúveis, hidráulicamente comportando-se como uma grande barreira impermeável, com pontos de conexão esporádicos, condicionados a presença de alinhamentos estruturais (falhas e diques de diabásio).

Devido a configuração de um relevo relativamente plano nas áreas carstificadas, o transportes de sedimentos pelos rios é pequeno, pouco susceptível a processos erosivos, predominando então os vales abertos e assimétricos.

Em sentido perpendicular a esta linha limítrofe, estabelece um perfil, que varia em altitudes de 1.200 a 930 metros, correspondendo as altitudes mínimas a interseção da mesma com o fundo dos vales da afluência Norte do Rio Água Comprida e ao Sul com a cabeceira do Rio Palmital, sendo o fundo de vale direcionando para a descarga de base para o Rio Capivari, portanto esta a altitude do Nível de Base do aquífero na Bacia do Ribeira. Em termos figurativos, a altitude 960 m , corresponderia à cota de topo do vertedouro da grande barragem constituída pelas rochas silicatadas do Complexo Gnaissico Migmatítico.

A descarga de base do aquífero para Bacia do Ribeira, de uma forma geral, esta limitada à curva de nível 1.140 m, podendo em pontos isolados apresentarem fugas à altitudes menores, relacionadas à elementos estruturais acima comentados, porém com vazões pouco significativas em relação ao potencial de armazenamento do mesmo, e com um limite inferior de 860 m, representando a altitude média da calha. Ainda em termos figurativos, este nível corresponderia *ao filtro de pé da grande barragem*.

O comportamento da descarga de base, considerando a bacia do Ribeira, esta condicionado por níveis de base escalonados, a partir da altitude 1.200 m, correspondendo aos topos da linha do interflúvio com a bacia do Iguaçu, até o nível do mar (zero metros), representado pela foz do Rio Ribeira com o Oceano Atlântico, no Estado de São Paulo.

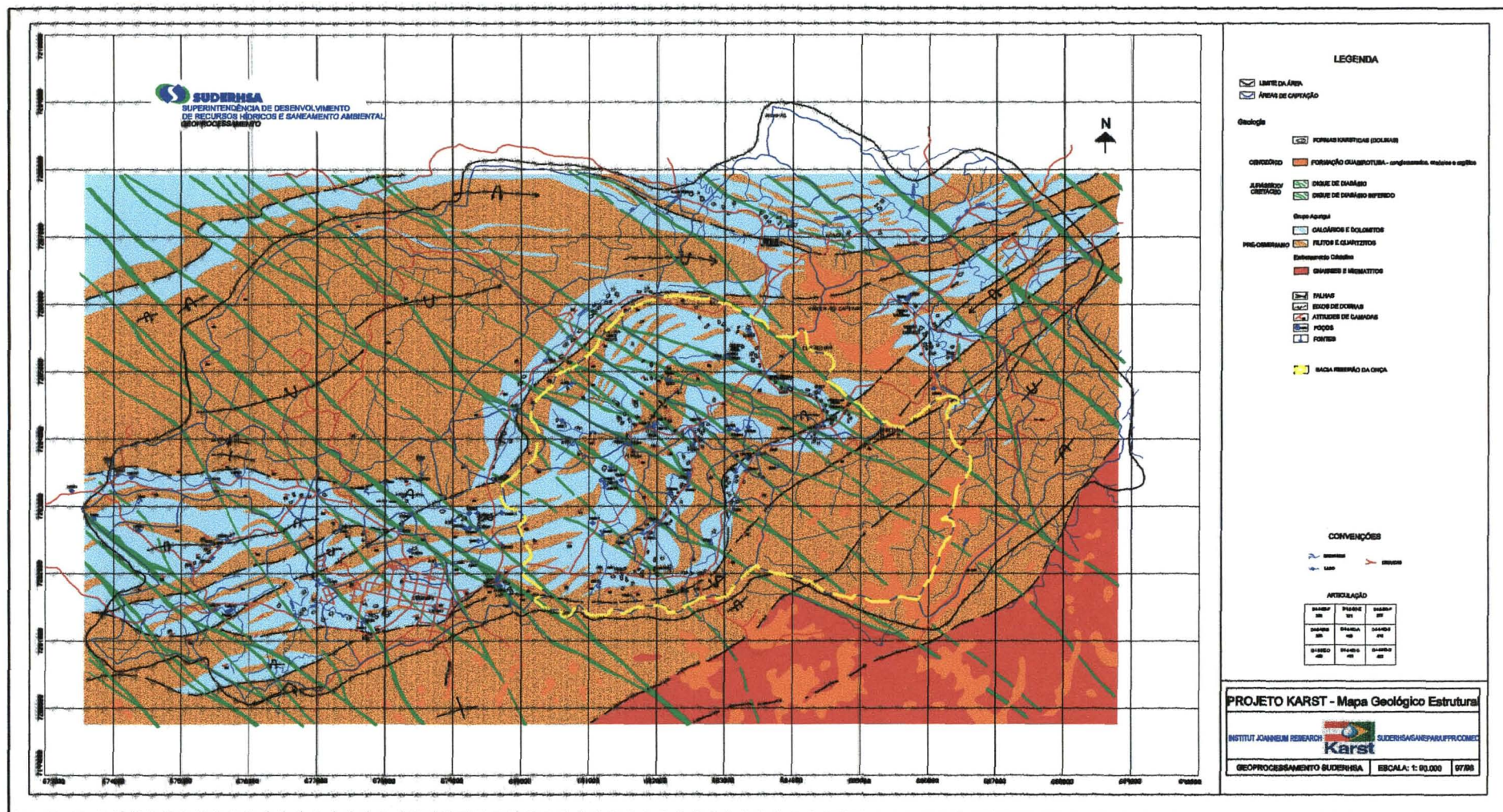


Fig. 2 - MAPA GEOLÓGICO DO CÂRSTE COM DIVISORES DE BACIA

2.5. GEOMORFOLOGIA

2.5.1. Geomorfologia Regional

A modelagem da atual superfície do Estado do Paraná foi processada pelos sistemas hidrográficos, movimentos epirogênicos e tectônicos, assim como pela influência de alterações climáticas, e da diferente suscetibilidade do tipo litológico ao intemperismo químico, no caso do Primeiro Planalto Paranaense. Os sistemas hidrográficos e as linhas orográficas principais limitam as paisagens naturais.

O território Paranaense, se apresenta como típica paisagem de degraus estruturais ou escarpa de extratos, distinguindo-se cinco grandes regiões de paisagens naturais ; O litoral, A Serra do Mar, e os três Planaltos, (primeiro, segundo e terceiro) que se inclinam suavemente para WNW e SW **Maack** (1968).

No contexto da presente dissertação, restringimos a abordagem regional ao Primeiro Planalto Paranaense.

O primeiro planalto apresenta uma característica de heterogeneidade em sua extensão. Subdivide-se em três sub-regiões : O Planalto de Curitiba, a zona Montanhosa do Açungui e o Planalto do Maracanã **Maack** (1968).

Os divisores de água que delimitam as bacias do Iguaçu e Ribeira são constituídos de rochas pré-cambrianas e parametamórficas, com intrusões de granitos e diabásios. O relevo torna-se mais movimentado, com vales profundos e espigões alongados, com aspecto geral de relevo montanhoso de tipo Apalacheano, a partir da linha de contato entre o Complexo Gnaissico Migmatítico com as rochas metamórficas do Grupo Açungui, acentuando-se ainda mais este caráter nos domínios da bacia do Ribeira, conforme bloco diagrama, (Fig. 3).

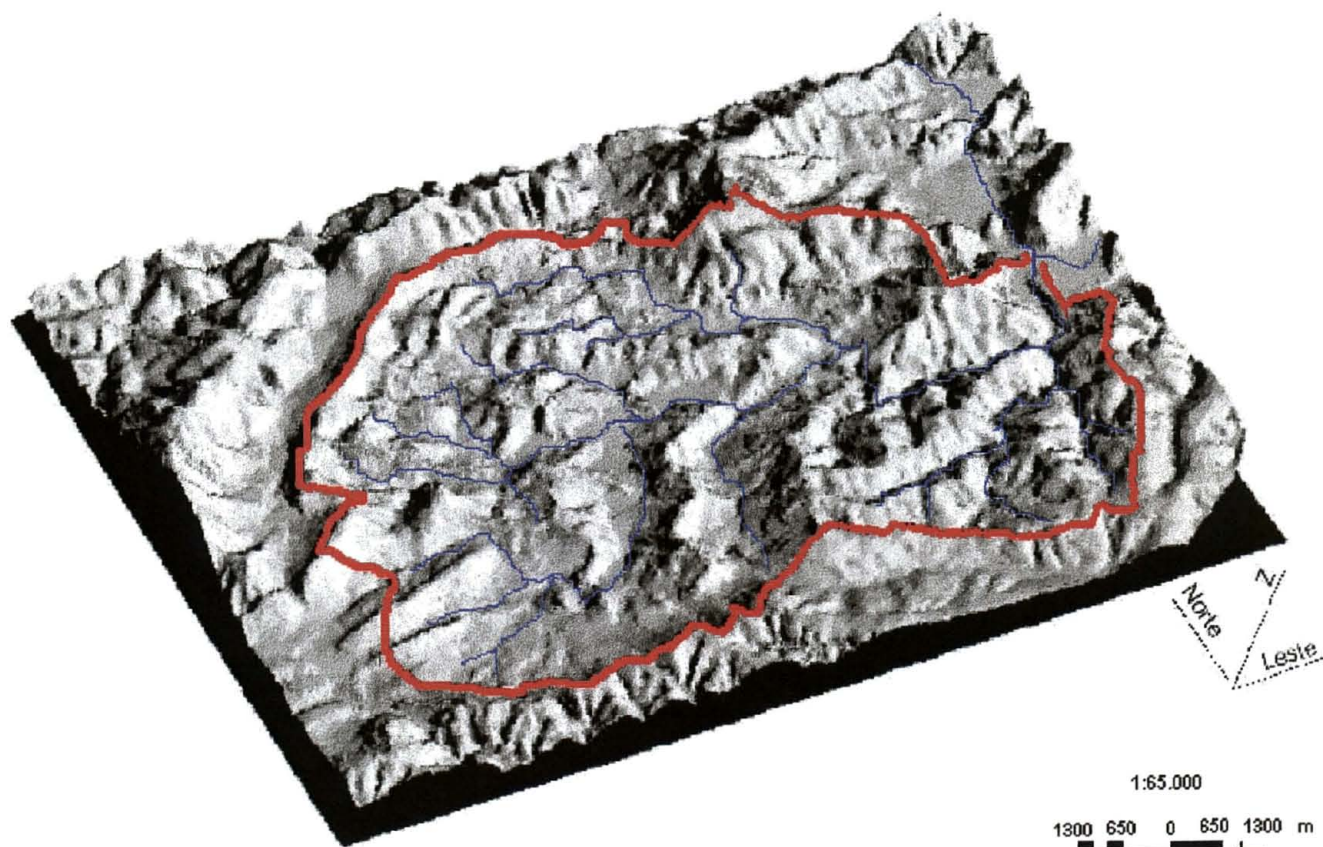


Fig. 3. Bloco Diagrama da Bacia do Ribeirão da Onça Ferreira (1999).

A sul desta linha de contato, o relevo apresenta maior homogeneidade, com grandes extensões planas, correspondentes as várzeas do rio Iguaçu e seus afluentes, tornando-se ondulado em direção norte, tanto mais intenso, quanto mais próximo do contato litológico referido, constituindo esta região o Planalto de Curitiba propriamente dito.

O relevo ondulado reflete a atuação dos agentes morfogenéticos sobre o substrato Migmatítico e os capeamentos argilo-arenosos pleistocênicos da Formação Guabirotuba, predominantes nesta região, correspondendo à 46% da área da Região Metropolitana de Curitiba, (R.M.C).

O Planalto de Maracanã se estende a oeste da escarpa Devoniana, entre Pirai do Sul e Castro, com terras planas e alagadiças, é uma zona isolada e de maior resistência, constituída por quartzito(serra do Pirai) e morros abaulados de quartzo-pórfiro decomposto, sendo atravessado pelo rio Iapó.

Barthelmes (1964), subdividiu o Primeiro Planalto Paranaense em sub-região do Alto Iguaçu, sub-região do Alto Ribeira e sub-região do Alto Iapó. Justifica esta subdivisão em função da estrutura dômica do Primeiro Planalto, que origina um padrão radial geral de drenagem, gerando um conflito das altas bacias decorrente da ingressão de ciclos de erosão, a partir de níveis de base diferentes.

2.5.2. Região do Carste: Formação e Sistema de Absorção e Circulação d'água

De acordo com o Gams (1993), "Kras", era o nome da região noroeste de Trieste (Itália), em esloveniano, Karst em alemão e carso em italiano, todos derivados da palavra pré-indo-européia "karra", que significa pedra. Hoje o termo carste é aplicado para definir um tipo de sistema geomórfico e hidrogeológico associado a rochas particularmente solúveis.

O que se denomina de carste, é um fenômeno geológico complexo que se refere à terrenos de litologias muito específicas, compostos de rochas

calcárias, dolomitos, calcíticos, gipsita, gesso halita, e outras rochas solúveis, submetidos à ação da água, temperatura, gases e pressão.

As rochas calcárias constituem entre 5 a 10% dos terrenos sedimentares do globo terrestre. No Brasil, de acordo com **Karmann** (1994), no território nacional localizando-se os mais extensos na região central (Grupo geológico Bambuí), no Mato Grosso do Sul (Grupo Corumbá) e no Sul do país em menor extensão (Grupo Açungui, entre outros).

A dinâmica do relevo cárstico principia quando as águas de infiltração agem sobre as fissuras e diáclases das rochas, dando lugar aos processos de dissolução superficial **Bigarella** (1994). À medida que as fendas vão se alargando, originam-se condutos ou sumidouros, nos quais fluem as águas de infiltração (Fig. 4).

Assim, desta forma é gerada uma das características principais do carste, uma drenagem de sentido vertical e subterrânea (criptorreica), seguindo fendas, condutos e cavernas, resultando na ausência parcial de cursos de água superficiais. Aspectos ruiniformes, esburacados com dolinas, ouvalas, sumidouros e surgências de águas minerais fazem parte do modelado geral.

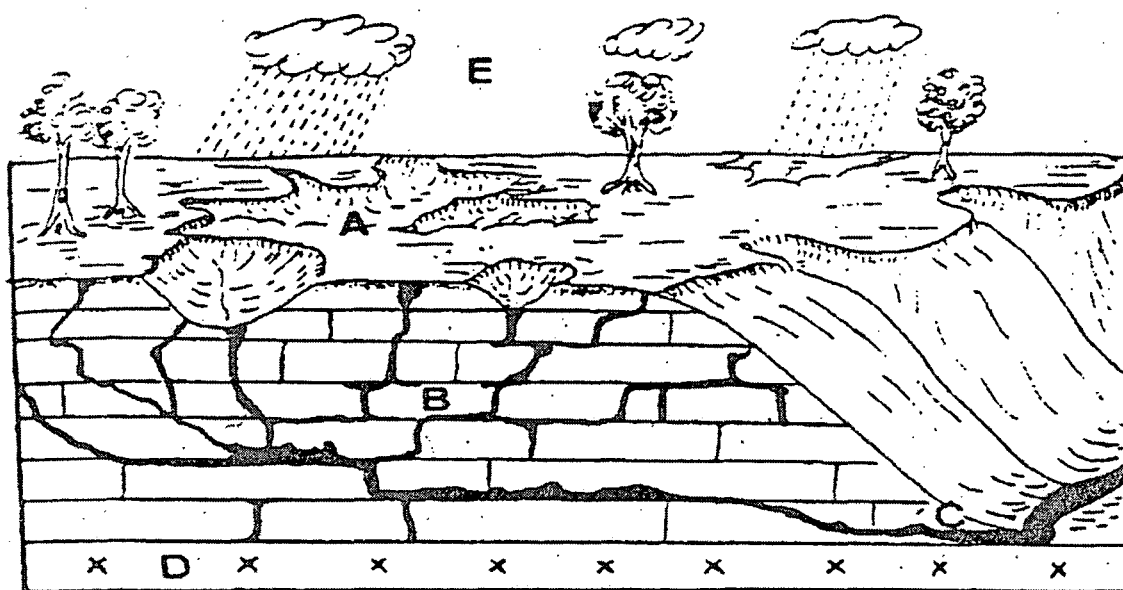


Fig. 04. Esquema de águas subterrâneas numa região cárstica.

Fonte: Bigarella (1994)

Principais condições para o desenvolvimento do modelado cárstico:

- A** – Rocha calcária permeável e solúvel na superfície;
- B** – Rocha espessa, maciça, fissurada e fraturada;
- C** – Surgência d'água percolada através de fissuras ou de alguns canais ou condutos;
- D** – Rocha impermeável;
- E** – Dissolução de CO₂ atmosférico.

A evolução deste relevo implica em considerar a ação de um conjunto de processos onde a dissolução é de extraordinária importância. A dissolução química e a erosão mecânica são os dois processos principais que originam as diferentes feições dos terrenos.

A exposição dos pacotes carbonáticos a um clima úmido, estabelecido à partir do Quaternário, quando teria predominado um superávit de água no balanço hídrico, ocasionou o desenvolvimento de canais de dissolução. Este aumento no volume de vazios, e de fraturas, aumenta a capacidade de circulação e armazenamento de água no subsolo, a exemplo do que ocorre em outras áreas carbonáticas do Brasil (**Silva**, 1984 e **Guerra**, 1986).

2.5.3. Geomorfologia Local

A área em estudo, assim como toda Região Metropolitana de Curitiba, situa-se no Primeiro Planalto Paranaense. Este compartimento morfológico é também denominado de Planalto de Curitiba.

É limitado á leste pela serra do mar, e a oeste pela escarpa de São Luís do Purunã. Caracteriza-se pela topografia ondulada, com altitudes em torno de 850-950m, entalhada sobre rochas migmatíticas antigas e sedimentos recentes **Canali & Muratóri** (1981).

A geomorfologia da área em questão é caracterizada principalmente pelas feições cársticas, que se apresentam em um relevo bastante rebaixado em relação ao contexto regional, na forma de planícies e vales amplos e achatados.

A natureza cárstica é evidenciada principalmente pela presença de feições como dolinas, e sumidouros.

As dolinas e ouvalas são resultantes da dissolução de rochas carbonáticas definidas como grandes depressões circulares causadas por desabamentos de tetos de cavernas, com tamanhos variados e forma elípticas, semelhante a verdadeiros funis. São zonas de dissolução máxima dos carbonatos, podendo evoluir para abismos e/ou sumidouros, possuindo grande capacidade de absorção e drenagem de água. São consideradas áreas de recarga do aquífero subterrâneo.

As cavernas, são também feições cársticas formadas a partir da dissolução das rochas carbonatadas. Segundo **Oliveira** (1997), podem ser definidas como um leito natural subterrâneo, com água ou seco, ocupando um espaço vazio, estendendo-se verticalmente ou horizontalmente, apresentando um ou mais níveis, via de regra intercalados.

Estas zonas deprimidas (cársticas), estão separadas por cristas filíticas e quartzíticas, mais resistentes à erosão e situadas em um cota mais elevada, delineando um relevo fortemente ondulado, formado por morros, encostas abruptas, retilíneas e convexas, com declividades médias a altas e desníveis altimétricos moderados, apresentadas em classes, conforme mapa de declividade (Fig. 5).

Na direção NW-SE, seccionando este conjunto metassedimentar, estão os diques de diabásicos que ocorrem como cristas alongadas na forma de morros, com vertentes convexas e íngremes quando interceptam transversalmente as rochas carbonáticas NE-SW, configurando uma disposição morfolioestrutural em forma de células retangulares, com desenhos topográficos favoráveis à recarga e à descarga do aquífero cárstico, localizado nas áreas rebaixadas entre os diques.

Segundo **Bigarella & Salamuni** (1958), os aspectos fisiográficos desta região apresentam-se subordinados “as estruturas e às litologias do Grupo

Açungui, que se torna absolutamente imprescindível uma compreensão razoável da geologia regional para interpretação das formas de superfície”.

Hasui & Almeida (1978), apontam que as características morfológicas da região devem ser analisadas levando-se em conta a ação tectônica terciária e modelado no quaternário. **Salamuni** (1981), acrescenta que os processos climáticos, também exercem papel importante como agente catalisador dos fenômenos erosivos e deposicionais.

Quanto ao aspecto morfológico, a zona Montanhosa do Açungui, apresenta relevo enérgico, onde dominam os cabeços de estratos (*hogs backs*) e espigões, separados por pequenas planícies e vales alongados, com desenvolvimento preferencial, segundo a direção NE-SW.

A energia de relevo é caracterizada por um desnível médio de 80 metros, atingindo um máximo 200 metros, nas proximidades dos vales mais entalhados.

O relevo positivo de cabeços de estratos e espigões são predominantemente originados por quartzitos e filitos intercalados, enquanto as pequenas planícies deprimidas e vales alongados correspondem a áreas com predominância dos mármore.

Os diques de diabásio, apresentam comportamento diferenciado em relação às encaixantes, exprimindo-se como vales, ao secionar as cristas de filitos e quartzitos, havendo no entanto inversão para cristas alongadas na direção NW-SE, em seu desenvolvimento nas rochas carbonatadas.

O contexto morfológico assim delineado, condiciona à uma compartimentação onde verifica-se um padrão reticulado losangular, com relevo positivo linear nas direções NW-SE e NE-SW, modificando-se para um relevo negativo, nas áreas interiores à estes. A repetição, de forma homogênea e constante, das direções acima comentadas, corresponde ao padrão principal de evolução do aparelho cárstico na região conforme mapa geológico da bacia do Ribeirão da Onça, (Fig. 6).

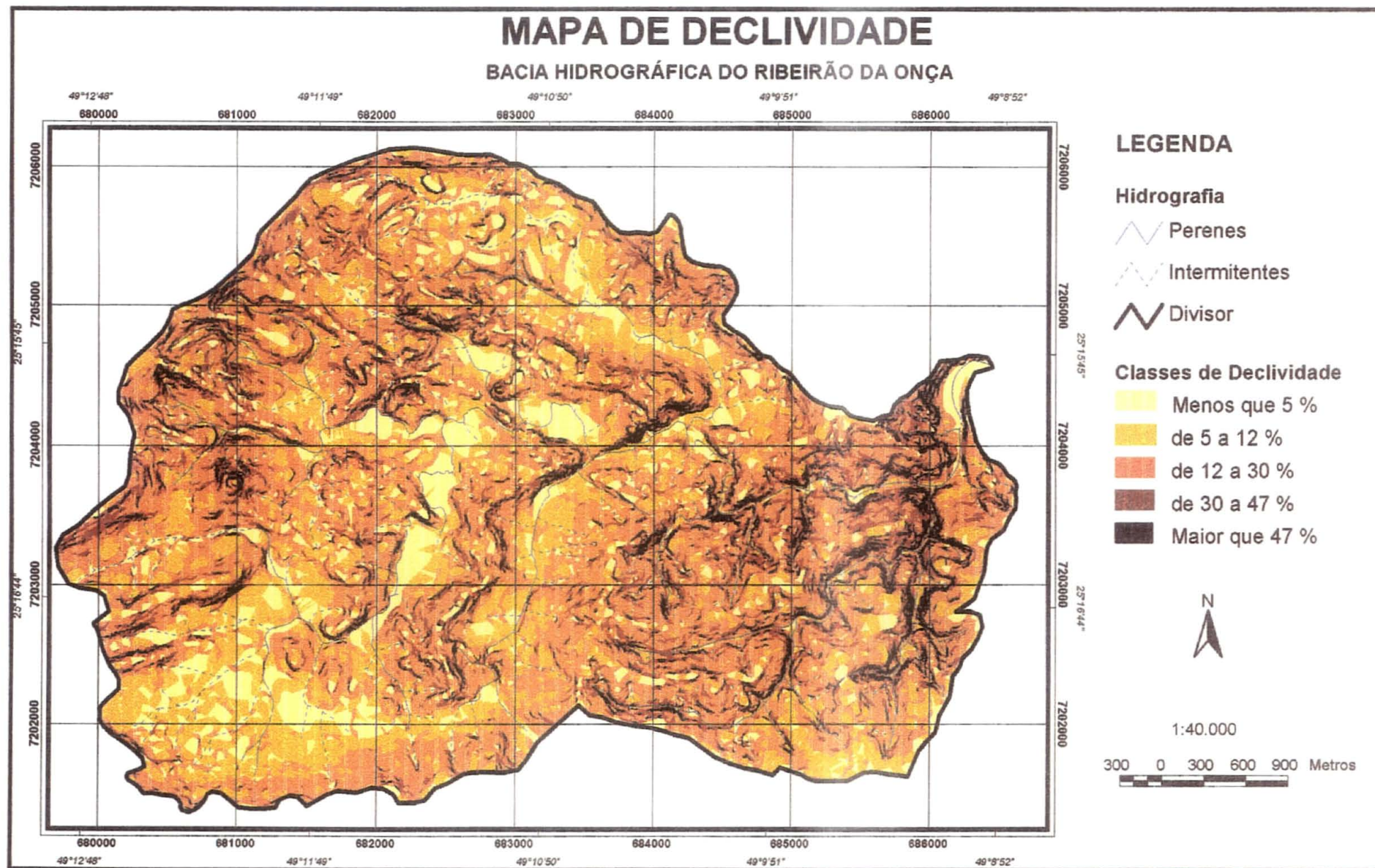
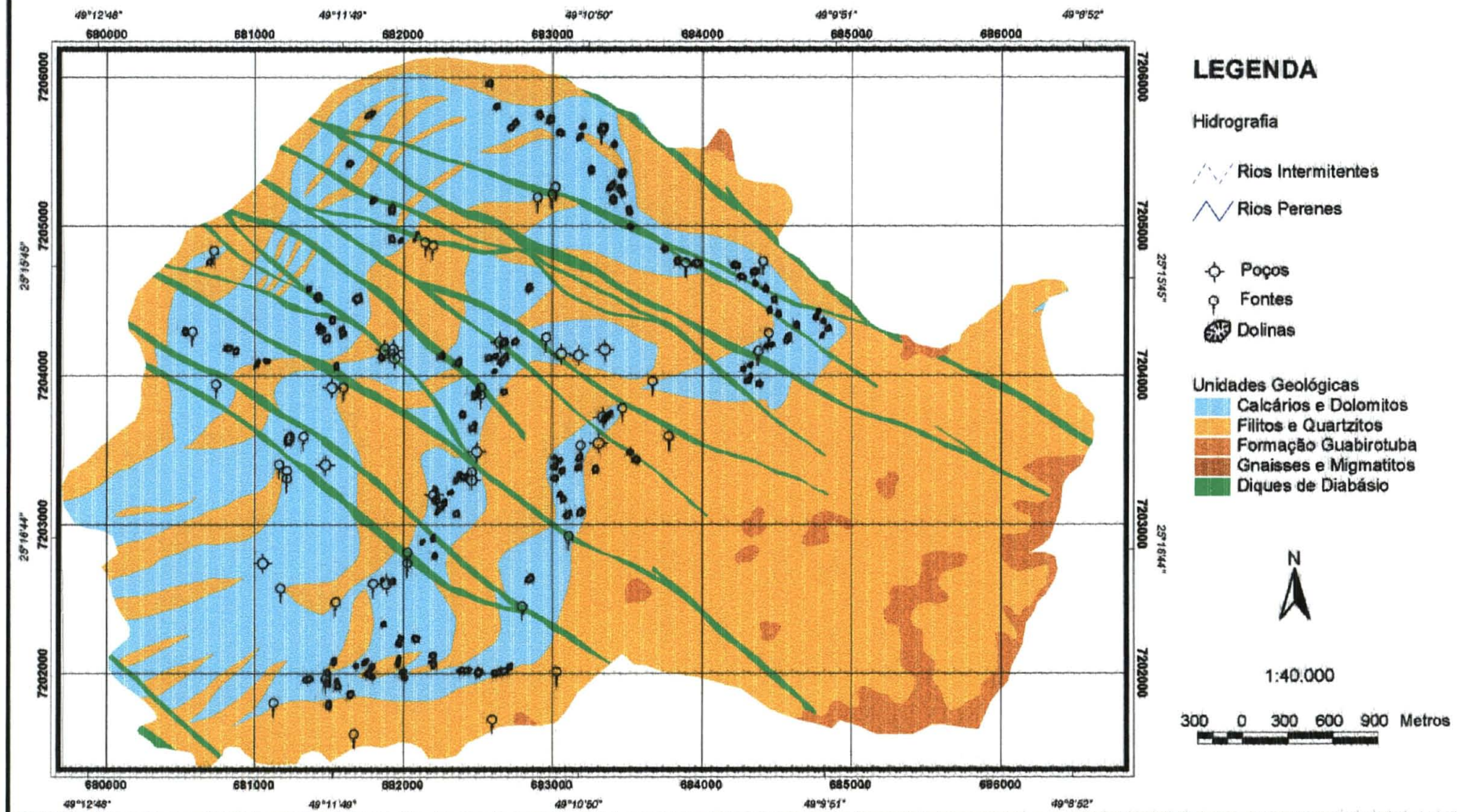


FIG. 5 - MAPA DE DECLIVIDADE

Fonte: FERREIRA, (1999).

MAPA GEOLÓGICO **BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DA ONÇA**



Constitui cada losângulo uma unidade com características similares as demais, porem com comportamento independente, do ponto de vista hídrico, refletindo as direções estruturais mais freqüentes da área conforme anteriormente comentado.

A exposição dos pacotes carbonáticos, intensamente fraturados em função dos múltiplos eventos desenvolvidos na evolução geotectônica do grupo Açungui, à um clima úmido, estabelecido a partir do período Quaternário, ocasionou nos mesmos significativos processos de dissolução, os quais aliados aos processos erosivos, diferenciam de forma drástica o relevo comparado as demais sub-regiões do Primeiro Planalto Paranaense.

Por outro lado, a ampliação acentuada do intemperismo químico, pela susceptibilidade à dissolução apresentada pelos mármore, corresponde a uma evolução rápida das formas, incrementado a energia de relevo e originando a instabilidade Geotécnica da região, a ser abordada de forma mais detalhada na sequência.

Oka Fiori (1987) fez uma análise das vertentes na região do médio Iguaçu, calculando ângulos característicos, ângulos médios, comprimento e curvatura das vertentes visando analisar as formas de vertentes dominantes, em sua relação com os diferentes tipos litológicos da área.

Complementando o quadro morfológico da região, na área de abrangência dos mármore, temos o desenvolvimento das formas cársticas correspondendo a feições de absorção do aparelho cárstico.

Em terrenos cársticos, no caso de rochas carbonáticas muito compactas ou metamorfas, as formas de absorção da entrada (precipitação) do sistema hidrogeológico são representadas, principalmente, pelas interseções de descontinuidades tectônicas (juntas e falhas) e pelas formas topográficas cársticas desenvolvidas pela ação da água. **Ford & Williams** (1989) designam de cársticas, além das feições formadas pelos processos de dissolução (químicos), aquelas geradas por processos de abatimentos (físicos), (Fig.7).

Segundo **Lladó** (1970), as formas cársticas de absorção podem ser classificadas em abertas e fechadas. As formas abertas, entre elas os sumidouros,

permitem uma penetração rápida e livre da água para o interior do sistema. Já as formas fechadas, com destaque para as dolinas, uvalas, poljés e vales cegos, apresentam uma absorção lenta da água.

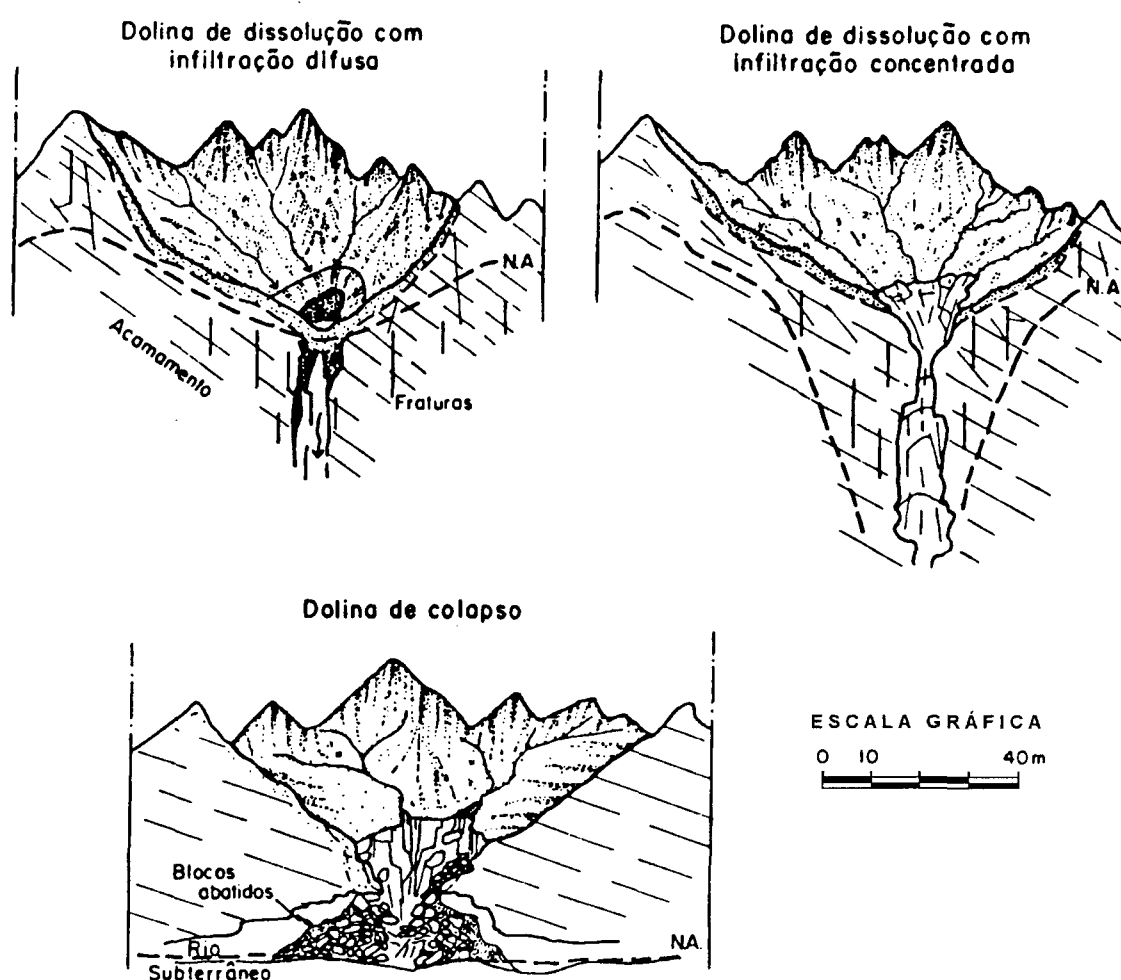


Fig. 7. Representação esquemática dos tipos fundamentais de formas de absorção do escoamento superficial em fundos de depressões poligonais no sistema cárstico do Alto Ribeira, **Karmann** (1994).

Segundo **Kohler** (1989), na formação do modelado cárstico os processos químicos de corrosão interagem com os processos físicos de abatimento. Portanto, uma dolina de dissolução pode sofrer um abatimento, bem como uma dolina de colapso pode ter suas bordas suavizadas pelos processos de corrosão.

A coalescência de dolinas gera as ouvalas que se destacam por apresentarem formas alongadas. Em alguns casos, são formadas planícies cársticas (poljés), que são depressões maiores do que as dolinas e ouvalas. Nesses poljés, que estão próximos às zonas de contato com as cristas filíticas e quartzíticas ou com as próprias encostas íngremes carbonáticas, estão presentes fontes e drenagens de pequeno porte (às vezes intermitentes).

Na área em estudo, a presença de metadolomitos intercalados a quartzitos e filitos propiciou o desenvolvimento de formas cársticas, como dolinas, e sumidouros, ao longo de zonas deprimidas no terreno correspondentes aos metadolomitos.

2.6. Vegetação

Maack (1950), em seu mapa fitogeográfico do Paraná situa toda a parte norte da região metropolitana de Curitiba na região das “matas secundárias predominantes nas zonas de Araucárias” e na “zona de cultivos efetivos”.

A vegetação original desta região foi muito modificada pelo homem. Inicialmente, conforme **Klein** (1962), esta área era coberta por matas de pinheiros (*Araucária Angustifolia*), juntamente com um sub-bosque de imbuia (*Ocotea porosa*), sassafrás (*Ocotea pretiosa*), canela coqueira (*Ocotea catharinensis*), erva mata (*Flex paraguariensis*), bracatinga (*Mimosa-scabrella*), (*Slonea-lasiocoma*), entre outras.

Dessa floresta primitiva muito pouco resta principalmente devido a procura da madeira de lei e ao cultivo dessas áreas.

Predomina na área, o reflorestamento de bracatinga, cujas espécies são cotadas sistematicamente para a obtenção de carvão vegetal e

aproveitamento como lenha nos fornos de cal da região. Em decorrência das sucessivas queimadas realizadas, começará a surgir uma cobertura de samambaias e capim-sapé, com o abandono da terra, por esgotamento, surgem as capoeira do tipo pico-pico de vara e aroeira e posteriormente, aparecem canela cebo, pingaleira, etc.

Esta formação é comum na área estudada, assim como os campos limpos e sujos, abundantes em várias localidades da região de Colombo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

A Bacia do Ribeirão da Onça é uma micro-bacia do rio Capivari, pertencendo à bacia do Ribeira, com 22,739 Km², disposta entre os paralelos de latitudes 25° 15' 09"S e 25° 17' 19"S; e entre longitudes 49° 08' 46"W e 49° 12' 35"W, estando delimitada ao norte com a bacia do rio Água Comprida e Bacaetava, e ao sul com a bacia do rio Palmital.

Tem-se acesso à área através da Rodovia da Uva, Pr 417, que liga Curitiba ao município de Colombo-Pr, e inúmeras estradas secundárias, o que facilita o acesso à região de pesquisa.

A área pesquisada encontra-se inserida na articulação A-093, escala 1:20.000, da Coordenação Região Metropolitana de Curitiba (COMEC) 1976.

A área da presente pesquisa está localizada no município de Colombo, situada na porção norte da Região Metropolitana de Curitiba, no primeiro planalto paranaense, (Fig.8).

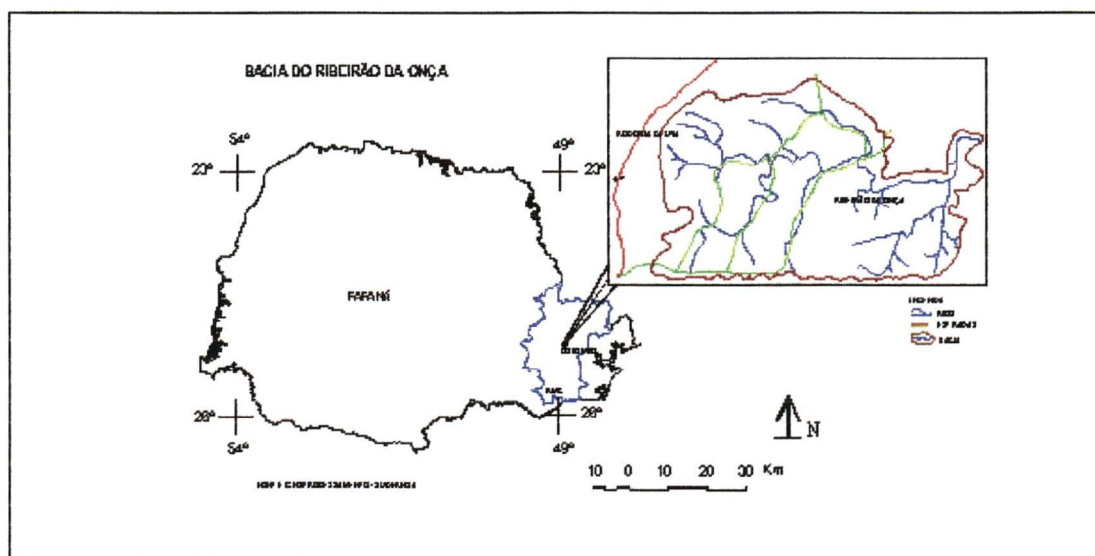


Fig. 8. Mapa de localização geográfica da área de estudo.

3.2 Procedimentos Metodológicos

O presente trabalho foi realizado através da caracterização e reconhecimento da área que compreende o município de Colombo-Pr, situado ao norte na Região Metropolitana de Curitiba.

Para se identificar as áreas de recarga e de descarga na bacia do ribeirão da onça, delimitou-se a bacia, objeto de trabalho da presente dissertação de mestrado, o qual é de fundamental importância para o conhecimento espacial e aproveitamento racional do aquífero cárstico.

A metodologia utilizada baseou-se na análise de fotos aéreas, cartas topográficas, geológicas, dados hidrológicos e hidrogeológicos. Através do método hidrogeológico descrito por **Kresic (1992)**, foi realizado o acompanhamento da evolução da vazão extraída pelos poços artesianos, permitindo a avaliação do nível do lençol subterrâneo, definindo o nível piezométrico do aquífero, responsável pela delimitação das áreas de recarga e descarga e posteriormente a quantificação das áreas.

Para medir o nível dinâmico do manancial subterrâneo fez-se uso da técnica utilizada pela Superintendência de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA), para o acompanhamento do nível manancial, sendo realizado através do monitoramento de cinco (05) poços artesianos, n.º 01, 10, 12, 14, 15, que estão sendo explorados e pertencentes a SANEPAR.

Os trabalhos desenvolvidos foram realizados com o uso de materiais denominados de medidor de nível manual e com registrador de nível automático, com registros a cada 15', sendo que o nível manancial de superfície é feito pelas leituras de um (01) linigráfo e três (03) réguas, instalados pela SUDERHSA, em vários pontos do ribeirão da Onça, cuja finalidade é fornecer dados que possam demonstrar a diminuição do volume de água transportada, devido ao rebaixamento do lençol subterrâneo.

Quanto as fontes determinadas como surgências naturais de água que aumentam os níveis dos rios, foi realizado um trabalho de observação no fluxo de vazão.

A metodologia para o levantamento dos parâmetros morfométricos das redes de drenagens e da bacia, seguiu-se a estabelecida por **Strahler (1952)** e

Morisawa (1968), apresentada por **Christofolletti** (1980) e **Canali & Oka Fiori** (1987).

A constatação de elementos morfológicos foi através de mapeamento com o uso da técnica de fotointerpretação utilizada por **Oka Fiori** (1980), e **Soares & Fiori** (1976). Foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:25.000, do voo de (1980) e na escala de 1:60.000, do voo de 1996. Sistemáticamente, os trabalhos de mapeamento foram elaborados através de recursos do ArcView 3.2, ArcInfo 8.0.2 e do Sistema de Informação Geográfica - SIG.

As feições cársticas de superfície, à exemplo das dolinas, ouvalas e sumidouros, também foram mapeadas na fotointerpretação, em escala 1:25.000, com posterior verificação em campo através de registro fotográfico. Os elementos morfológicos encontrados auxiliaram na geração do mapa de formas cársticas disponíveis para a área.

As atividades de campo compreenderam a obtenção de dados geológicos, morfológicos, hidrológicos e hidrogeológicos.

Devido ao caráter multidisciplinar das investigações em regiões cársticas e das particularidades apresentadas pelos processos químicos e hidrológicos associados, principalmente e subsuperfície, a abordagem sistêmica parece ser a mais adequada. De acordo com **Kresic** (1992), esse tipo de abordagem está extremamente presente, com inúmeras aplicações, em vários campos da pesquisa científica, relacionando-os com as leis da natureza quanto com as da sociedade, (Fig. 9).

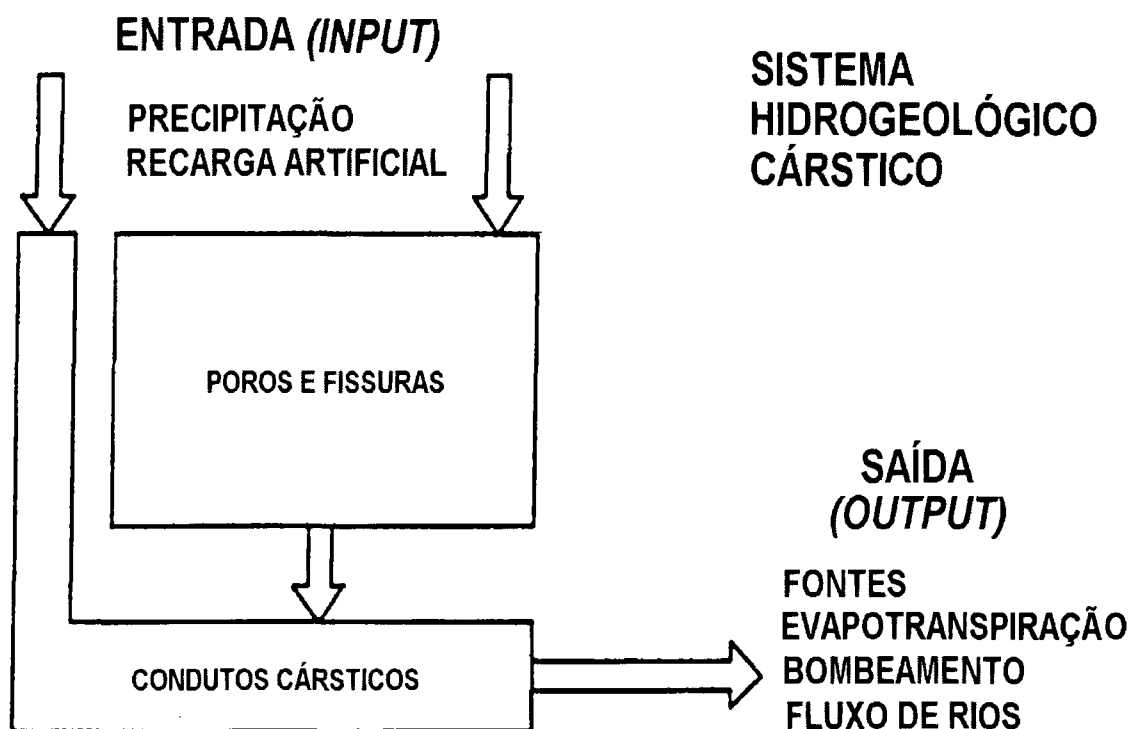


Fig. 9. Entradas e Saídas de um sistema hidrogeológico cárstico. Adaptado de Kresic (1992) e Behrens *et al.* (1992).

Na análise quantitativa dos elementos internos e externos dos sistemas hidrogeológicos cársticos, **Kresic** (1992) agrupa os métodos de estudos disponíveis em:

- a) métodos hidrológicos: traçadores, curva de recessão, separação dos componentes do hidrograma e balanço hídrico;
- b) Métodos estocásticos estatísticos: distribuição probabilística, regressão, funções;
- c) Kernel, variograma e krigagem, e modelos estocásticos;
- d) Método hidrogeológicos: soluções analíticas (teste de bombeamento e teste de permeabilidade) e soluções numéricas da diferença finita, método do elemento limite.

Com base na carta planialtimétrica escala 1:20.000, A-093 da **Comec**, de 1976, confeccionou-se a carta base em papel poliéster contendo a drenagem principal, principais vias de acesso, os quais foram digitalizados.

Em relação aos índices morfométricos foram levantados o perímetro das bacias, utilizando-se o curvímetro, planímetro digital para se obter a área total da bacia, o qual foi delimitada seguindo-se os divisores de água.

A análise espacial dos padrões de drenagens das bacias hidrográficas foi feita restituindo-se os canais fluviais e pluviais através das crenulações das curvas de nível da carta topográfica.

Com base em **Christofolletti** (1980), procurou-se obter informações sobre a geodinâmica regional através da análise dos cursos fluviais. Estes representam o mecanismos de ajuste entre as variáveis envolvidas no sistema morfológico.

O estudo dos canais fluviais procura discernir os tipos de arranjos espaciais, tipologia dos canais, refletem o padrão de drenagem que se observa na dimensão plana.

A restituição da rede de drenagem, se deu através de fotografias aéreas do ano de 1980, do **ITC** (Escala 1:25.000), restitui-se a drenagem detalhada de toda a área delimitada pela da bacia hidrográfica. Através da transferência (com uso de estereoscópio) dos canais fluviais para o papel vegetal sobreposto sobre as fotografias, que foram posteriormente plotadas na carta base.

4.1. Características Morfométricas da Bacia

Os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região. Uma ou varias bacias de drenagem podem estar englobadas na caracterização de determinado padrão.

Para a identificação dos levantamentos dos parâmetros morfométricos das redes de drenagens, buscou-se empregar métodos que permitissem obter resultados imediatos à uma análise mais abrangente sobre redes hidrográficas. Os índices morfométricos, foram levantados mediante as seguintes técnicas empregadas:

4.1.1. Hierarquização dos canais de drenagem (segundo Strahler et al (1952)).

A ordenação dos segmentos fluviais seguiu o critério estabelecido por **Strahler**, op. cit. Referido por **Christofolletti** (1980), onde os menores canais, sem tributários correspondem aos de primeira ordem, os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e somente tem afluentes de primeira ordem, os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens; os canais de quarta ordem derivam da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores, e assim sucessivamente.

4.1.2. Área da Bacia

A área da bacia compreende toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, delimitada pelos divisores. O efeito do tamanho da área de drenagem sobre as características dos escoamentos fluviais é variado. O deflúvio máximo de enchente, o deflúvio mínimo e médio, variam com o tamanho da bacia. A amplitude dos cursos d' água é também afetada por esse importante fato.

A área foi calculada com o auxílio de um planímetro polar. Após feita a leitura no planímetro empregou-se a fórmula:

$$\frac{(\text{leitura de 4. n}^{\text{os}}.) \times (\text{denominador da escala})^2}{10} = \text{área (Km}^2\text{)}$$

o resultado final é convertido para Km².

4.1.3. Perímetro da Bacia

O perímetro das microbacias foi abstraída com a utilização do curvímeter percorrendo por sobre as linhas de delimitação das microbacia.

A partir dos índices levantados foram calculados as seguintes relações:

4.1.4. Densidade Hidrográfica (Dh)

Obtêm-se a partir da relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da microbacia existente entre o número de rios e a área da microbacia hidrográfica, é calculada pela fórmula:

$Dh = N/A$, onde

Dh é a densidade hidrográfica

N é o número de rios, e

A é o valor da área da microbacia considerada.

Sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão, apresentado no.

4.1.5. Densidade de Drenagem (Dd)

Correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da microbacia hidrográfica. Sendo calculada pela equação

$Dd = Lt/A$, onde

Dd é a densidade de drenagem

Lt é o comprimento total dos canais e

A é a área da microbacia.

O cálculo da densidade de drenagem é importante na análise de microbacias hidrográficas porque apresenta relação inversa com o comprimento dos rios. À medida que se aumenta o valor numérico da densidade há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das microbacias de drenagem.

4.1.6. Comprimento Médio (Lm) e Relação dos Comprimentos Médios (Rlm)

Para se calcular o comprimento médio dos canais divide-se a soma dos comprimentos dos canais de determinada ordem pela quantidade de canais existentes na mesma ordem, através da fórmula.

$L_m = L_u/N_u$, onde

L_m é o comprimento médio

L_u é o comprimento dos canais e

N_u é a quantidade de canais.

A lei da Relação dos Comprimentos Médios, diz que “em uma microbacia determinada, os comprimentos médios dos canais de cada ordenam-se segundo uma série geométrica direta, cujo primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem, e a razão é a relação entre os comprimentos médios.”

Para se determinar a **R_{lm}** usa-se a seguinte expressão:

$R_{lm} = L_{mu}/L_{mu-1}$, onde

R_{lm} é a relação entre os comprimentos médios,

L_{mu} é o comprimento médio dos canais e

L_{mu-1} é o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior.

4.1.7. Relação de Bifurcação (R_b), Horton (1945)

A relação de bifurcação é tida como a relação entre o número total de segmentos de uma certa ordem e o número de ordem imediatamente superior, através da fórmula:

$R_b = N_u/N_{u+1}$, onde

R_b é a relação de bifurcação,

N_u é o número de segmentos de determinada ordem, e

N_{u+1} é o número do segmento de ordem imediatamente superior.

4.1.8. Relação de Relevo (R_r -%)

Expressa-se pela diferença entre a cota máxima do rio principal, dividido pelo comprimento da microbacia. Estabelecendo-se assim a declividade da área da microbacia hidrográfica.

4.1.9. Forma da Bacia (Kc)

A forma da microbacia determina a distribuição do deflúvio ao longo dos cursos d'água principais, e é em grande parte responsável pelas características das enchentes que as mesmas apresentam. Foi obtida através do índice denominado coeficiente de compacidade, representado pela fórmula;

$$K_c = \frac{P}{2 \sqrt{\pi A}} \quad \text{onde ,}$$

Kc é o coeficiente de compacidade,

P é o perímetro da microbacia em quilômetros e

A é a área em quilômetros quadrados.

4.1.10. Gradientes dos Canais (Rgc°)

O gradiente dos canais vem a ser a relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do respectivo canal. Uma de suas finalidades é indicar a declividade do rio principal.

Para a área da microbacia estudada, foi obtido o valor de gradiente, o qual refere-se desde à área que contém forte desnível, até a área que compreende a uma faixa mais plana, onde o coletor principal deixa de receber tantos afluentes na sua foz com o rio Capivari.

4.1.11. Extensão do Percurso Superficial (Eps)

Representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, correspondendo a uma das variáveis independentes mais importantes que afeta tanto o desenvolvimento hidrológico como o fisiográfico das microbacias de drenagem calcula-se da seguinte maneira:

Eps = $1/2Dd$, na qual

Eps é a extensão do percurso superficial

Dd é o valor da densidade de drenagem

Foram ainda acrescentados dados sobre a Relação Ponderada dos Comprimentos Médios (**RpRlm**) e Relação entre o Comprimento Médio e a Relação de Bifurcação (**Rlb**), obtido pela fórmula: **Rlb=Rlm/Rb**, na qual **Rlb** é a relação entre índice do comprimento médio e o de bifurcação; **Rlm** é a Relação do comprimento médio entre duas ordens subsequentes e **Rb** é a Relação de bifurcação entre as mesmas duas ordens subsequentes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Análise Morfométrica

A partir da metodologia empregada, deu-se a classificação do número de ordens conforme a quantidade de segmentos que recebe. (A quantidade de canais por ordem hierárquica de drenagem da microbacia estão contidos na (Fig. 10). Onde foram obtidos os seguintes resultados:

Quadro 1 - Relação dos Resultados Físicos:

Parâmetros Morfométricos	Valores
Dh	9,58 (Rios/Km ²)
Dd	2,70 (Km/Km ²)
Kc	1,30 (sem unidade)
Eps	1,35 (Km/Km ²)
Rr	28,9 (%)
Lt	61,47 (Km)
Lb	11,9 (Km)
A	22,73 (Km ²)
Rgc	2° 50' 27"
Hm	198 (m)
Perímetro	22,00 (Km)

Quadro 2 - Numero de Canal

Ordem	NU n.º Canais
1. ^a	218
2. ^a	58
3. ^a	13
4. ^a	4
5. ^a	1

Quadro 3 - Comprimento de Canais (Lu) e Comprimento Médio de Canais (Lmu)

Ordem	NU n.º Canais	LU Comprimento de Canais	Lmu Comprimento Médio
1. ^a	218	22,9	0,1
2. ^a	58	13,450	0,23
3. ^a	13	12,05	0,92
4. ^a	4	6,89	1,72
5. ^a	1	6,18	6,18

Quadro 4 - Relação de Bifurcação (Rb)

Ordem	NU n.º Canais	Rb
1. ^a	218	
2. ^a	58	3,7
3. ^a	13	4,4
4. ^a	4	3,2
5. ^a	1	4

Quadro 5 - Relação Ponderada de Bifurcação (Rpb)

Ordem	NU n.º Canais	Rb	N.º de Canais Envolvidos	N.º de canais x Rb	Rpb
1. ^a	218				
		3,7	276	1.021	
2. ^a	58				
		4,4	71	312	
3. ^a	13				
		3,2	17	54	
4. ^a	4				
		4	5	20	
5. ^a	1				
Média			369	1.407	3,8

Quadro 6 - Numero Teórico de Canais por Ordem (Eq)

N Ordem	N Canais (Nu)	Rpb	N Teórico de Canais (Eq)
1	218	3,8	218,0
2	58	3,8	57,3
3	13	3,8	15,2
4	4	3,8	3,4
5	1	3,8	1,0

Quadro 7 - Relação entre os Comprimentos Médios (Rlm)

Ordem	Lm Comprimento Médio	Rlm
1. ^a	0,1	
		2,21
2. ^a	0,23	
		4,000
3. ^a	0,92	
		1,86
4. ^a	1,72	
		3,59
5. ^a	6,18	

Quadro 8 - Relação entre o Índice do Comprimento Médio e o de Bifurcação

Ordem	Rb	Rlm	Rlb
1. ^a			
	3,7	2,21	0,6
2. ^a			
	4,4	4,000	0,91
3. ^a			
	3,2	1,86	0,58
4. ^a			
	4,0	3,59	0,9

Quadro 9 - Relação Ponderada dos Comprimentos Médios (Rprlm)

Ordem	NU n.º Canais	Rlm	N.º de Canais Envolvidos	Média Ponderada	(Rprlm)
1. ^a	218				
		2,21	276	609,96	
2. ^a	58				
		4,000	71	284	
3. ^a	13				
		1,86	17	31,62	
4. ^a	4				
		3,59	5	17,95	
5. ^a	1				
			369	943,53	2,55

Quadro 10 - Número Teórico dos Comprimentos Médios

Ordem	Comprimento Médio (Lmu)	(Rprlm)	Comprimento Médio n.º Teóricos
1. ^a	0,1	2,55	0,25
2. ^a	0,23	2,55	0,58
3. ^a	0,92	2,55	2,34
4. ^a	1,72	2,55	4,38
5. ^a	6,18	2,55	15,75

QUADRO 11 - Comprimento Médio de Canais e Equilíbrio Dinâmico

Nº Ordem	Nu	Lu	Lmu	Rlm	Produto	Média	Nº Teórico dos Canais	Rb	Nº Canais	Nº Canais	Nº Teórico dos Canais
						Ponderada	(Eq/Lu)		Envolvidos	Rb	(Eq / Nu)
1ª	218	22,9	0,1				0,15		276		218
				2,21	481,78	609,96		3,7		1,021	
2ª	58	13,45	0,23				0,37		71		57,3
				4	232	284		4,4		312	
3ª	13	12,45	0,92				0,95		17		15,2
				1,86	24,18	31,62		3,2		54	
4ª	4	6,89	1,72				2,42		5		3,4
				3,59	14,36	17,95		4		20	
5ª	1	6,18	6,18								1
Total						943,53			369	1,407	

Nu = Número de Canais

Lu = Comprimento total dos canais

Lmu = Comprimento médio dos canais

Rlm = Relação dos comprimentos médios

Rb = Relação de Bifurcação

Rpb = Relação Ponderada de Bifurcação

RpRlm = Relação Ponderada dos Comprimentos Médios

Eq = Equilíbrio Dinâmico para Número e Comprimento Médio dos Canais

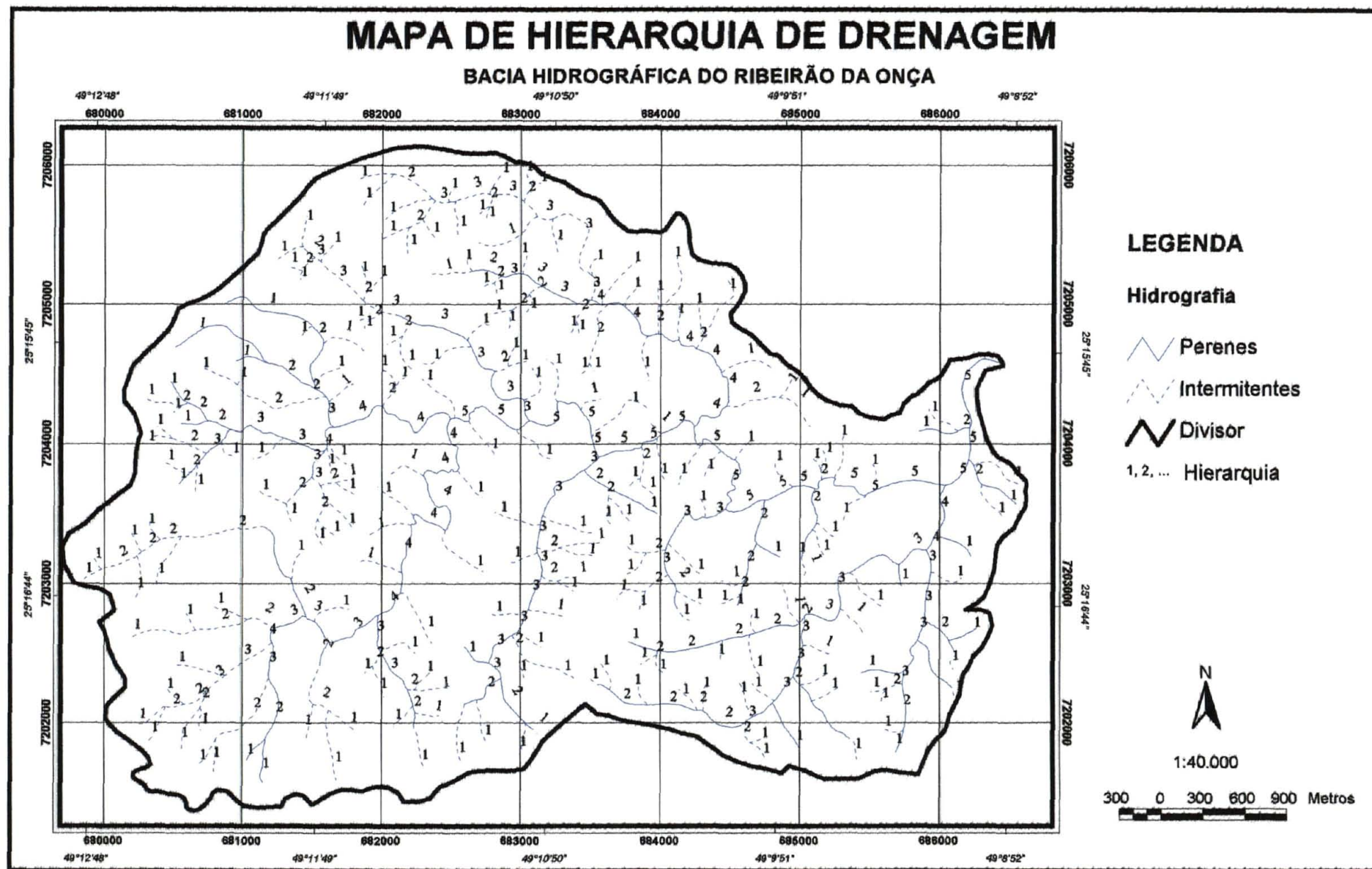


FIG. 10 - MAPA COM HIERARQUIA DE DRENAGEM

4.2. Interpretação da Morfometria da Bacia

De acordo com o resultado espacial dos padrões e drenagem e da hierarquia das ordens dos rios, demonstram a quantidade de canais estabelecidos que estão condicionados aos processos atuantes sobre a morfologia da região, o qual esta constituída por rochas do Grupo Açungui, pelos filitos, quartzitos e mármore calcíticos e dolomíticos, que são cortados por diques de diabásios, determinando um sistema de compartimentos na morfologia cárstica dando origem a diferentes padrões de drenagem.

Quanto a relação de bifurcação de, segundo **Horton** (1945), o índice nunca pode ser inferior a dois e segue uma progressão geométrica inversa.

Segundo a interpretação dos índices relacionados com a lei dos comprimentos, análise dos valores relacionados com os comprimentos médios e as respectivas ordens reflete um aumento da extensão dos canais em razão direta com a elevação das ordens.

Os valores da relação ponderada de bifurcação, segundo **Smart** (1972), devem apresentar valores entre 3,0 e 5,0 nos sistemas de drenagens naturais, em pleno estágio de desenvolvimento. Considerando-se o resultado, pode-se considerar que a bacia enquadra-se entre tais limites, Quadro 5 .

Quanto a relação entre o comprimento médio dos canais e as suas respectivas ordens, onde existem discrepâncias maiores, pois a tendência geral é haver diminuição do comprimento total com a elevação da ordem.

O Quadro 1, apresenta o conjunto de valores dos índices de compacidade, densidade hidrográfica, densidade de drenagem, relação de relevo e extensão do percurso superficial. Através do índice de compacidade, verifica-se que a bacia em estudo se aproxima do valor da unidade, que corresponde à uma forma circular, com índice de 1,30.

A densidade hidrográfica tem também a finalidade de determinar o numero de canais existentes em cada quilometro quadrado, esta bacia comporta de forma geral o valor de 9,58 canais/Km², portanto observa-se que a variação desta ordem esta condicionada pelos fatores morfológicos, devido as diferentes litologias existentes. Quanto a densidade de drenagem que correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica, o qual apresenta um valor de 2,70 Km/Km², conforme apresentado no Quadro 1.

A extensão do percurso superficial é o índice definido como sendo a distância média que a água da chuva teria que escoar sobre os terrenos de uma bacia, caso o escoamento se desse em linha reta desde onde a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso de água qualquer da bacia, sendo que o **Eps** encontrado é de 1,35 Km/Km².

Quanto a Relação de Relevo apresentada no Quadro 1, e sobre o gradiente do canal principal, verifica-se que a área que possui maior declividade é a área Norte e Noroeste da bacia onde formam-se o alto gradiente, até a foz da bacia.

4.2.1. Características de Relevo da Bacia

O relevo da bacia do Ribeirão da Onça está associado diretamente com os diferentes tipos litológicos, dando origens a áreas planas e levemente onduladas, devido ao processo erosivo das rochas carbonáticas, nas áreas onde predominam os diques de diabásio, as cristas de filitos e quartzitos, diferenciam-se apresentando regiões elevadas, pelo alto grau de dureza e dissolução, demonstrando uma correlação nítida entre litologia e modelado do relevo.

O relevo positivo de cabeços de estratos e espigões são predominantes originados por quartzitos e filitos intercalados, constituindo relevo mais acidentado onde predominam os vales em forma de "v", enquanto que as áreas que correspondem a formação das rochas carbonáticas (mármore calcínicos e dolomíticos), são caracterizadas por pequenas planícies deprimidas e vales alongados em forma de calha e assimétricos.

Devido a configuração de um relevo relativamente plano nas áreas carstificadas, o transporte de sedimentos pelos rios é pequeno, pouco susceptível a processos erosivos, predominando então os vales abertos e assimétricos.

A declividade de uma bacia se relaciona com o escoamento superficial, e com o maior ou menor grau de infiltração e susceptibilidade de erosão.

As características do relevo são importantes não somente devido a condicionarem a velocidade de escoamento superficial, através da declividade da bacia e do diferencial de energia gravitacional, pois também exerce influência da altitude na temperatura, precipitação e evapotranspiração.

Fritsons (1999), analisou e constatou que aproximadamente 50% da porcentagem acumulada (declividade média) da área ocorre em intervalos abaixo de 20 a 30%, respectivamente para as bacias de Fervida e Ribeirão da Onça.

4.3. Características Hidrológicas da Bacia

A hidrologia da bacia caracteriza-se em muitos segmentos da drenagem pela ausência de rios, que encontram-se sobre a morfologia cárstica. Entretanto em muitas áreas são nítidos os traços deixados por antigos rios que desapareceram em função do alto grau de dissolução das rochas carbonatadas (Dolomíticas calcíticas), sendo definidos como rios perenes, que em épocas de cheias permanecem em suas atividades e contribuindo para o manancial de superfície e subterrâneo.

A circulação interior das águas nas regiões constituídas por rochas cársticas faz-se entre os pontos de absorção onde desaparecem as águas subaéreas, e ocorrendo em outras áreas as ressurgências.

A rede de drenagem encontra-se condicionada as estruturas morfológicas que direcionam os padrões de drenagem, segundo as litologias. Ocorrendo no manancial subterrâneo o armazenamento e conseqüentemente uma circulação com maior intensidade, caracterizando às áreas de recarga e descarga do aquífero.

4.4 Condicionamento dos Elementos Compartimentais

Através da análise desenvolvida pelo contexto morfoestrutural pressupõem uma compartimentação onde se verificam massas carbonáticas (mármore calcítico e dolomítico) com excelentes condições de porosidade e permeabilidade, limitadas por fronteiras praticamente impermeáveis (cristas de filitos e quartzitos entrecortadas por diques de diabásio). Este contexto morfoestrutural é delineado por um padrão geométrico losangular com comportamento hidráulico independente, determinado pelos elementos atuantes.

4.4.1. Condicionamento Morfológico

Na área em estudo, individualiza-se o compartimento unitário, ou tanque, através do intercruzamento de duas cristas compostas por diques de diabásio com duas cristas de composição quartzítico-filíticas, resultando em uma figura geométrica de aspecto losangular cujas limitantes serão daqui por diante designadas por Crista de composição diabásica Sudoeste (CdbSW), Crista de composição diabásica Nordeste (CdbNE), Crista de composição quartzítico-filíticas Noroeste (CqfNW) e Crista de composição quartzítico-filíticas Sudeste (CqfSE), respectivamente, (Fig. 11).

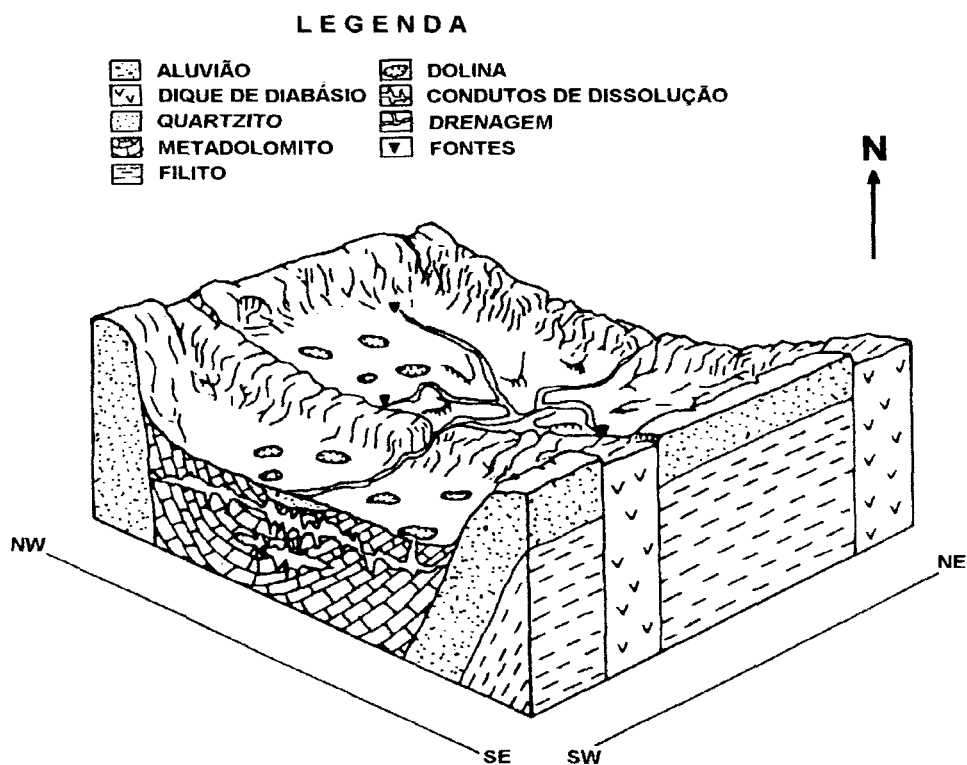


Fig.11. Modelo Tridimensional representando compartimento unitário, Fraga (1994).

A CdbSW é composta por um dique de diabásio com espessura de 200 metros e desenvolvimento subvertical em relação a superfície. Em sua linha de crista apresenta altitude máxima de 1030 metros, com desenvolvimento longitudinal de dezenas de quilômetros, secionando na direção sudeste as rochas

do Complexo Gnaissico Migmatítico. Sua extensão delimitada entre as cristas quartzo filíticas é de 3.000 metros, (Figs. 12 e 13).

A ruptura pela drenagem afluyente se faz à uma altitude de 950 metros. A CdbNE é composta por um dique de diabásio com espessura de 80 metros e desenvolvimento também subvertical, em relação a superfície. Em sua linha de crista apresenta altitude máxima de 987 metros, com desenvolvimento longitudinal de quilômetros, seccionando na direção sudeste as rochas do Complexo Gnaissico Migmatítico. Sua extensão delimitada entre as cristas quartzo filíticas a exemplo da anterior é de 3.000 metros, (Fig. 14).

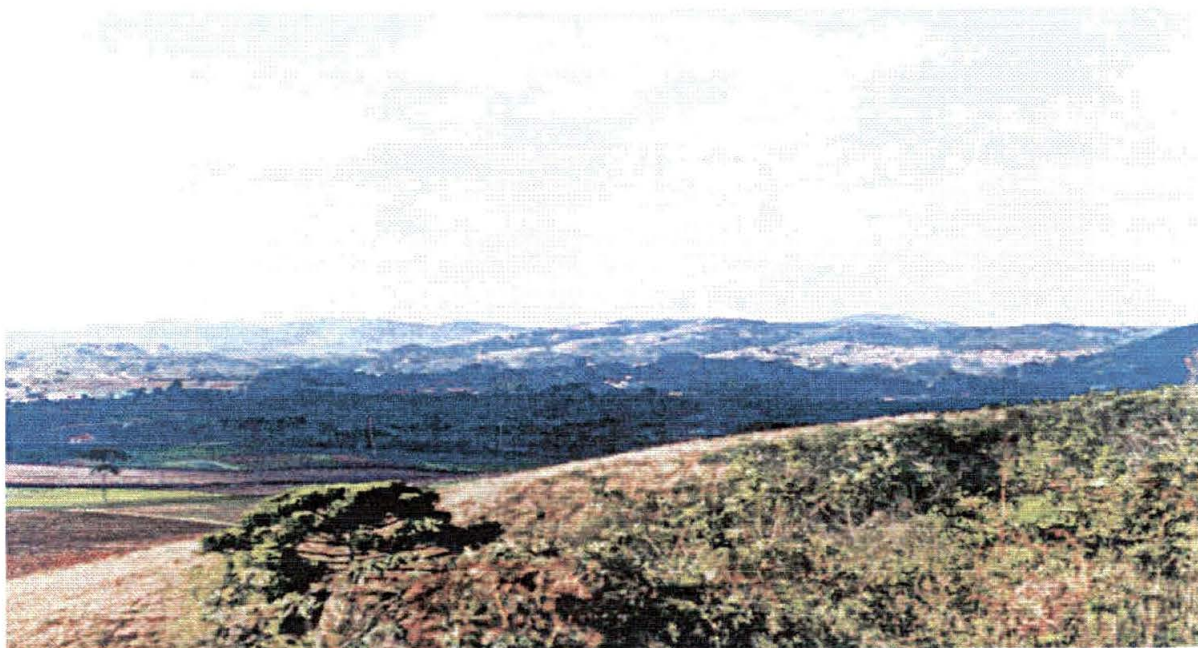


Fig. 12. Foto da Vista do Dique de diabásio que compõe a CdbSW , foto tirada a partir do CdbNE, Silva (2000).



Fig 13. Foto da Vista dos Diques de diabásio que compõe a CdbSW ao fundo, e do CdbNE em primeiro plano, Silva (2000).



Fig. 14. Foto Vista do Dique de diabásio que compõe a CdbNE foto tirada a partir da CdbSW, Silva (2000).

A CqfNW é composta na linha de crista por quartzito com espessura 100 metros e nos flancos por filito com espessura de 400 metros. O pacote é mergulhante para Sudeste 70° . Os pontos mais altos desta linha apresenta altitudes média de 1050 metros, com desenvolvimento longitudinal de dezenas de quilômetros. Sua extensão inter diques é de 1.900 metros, (Fig. 15).



Fig. 15. Foto da Vista da crista quartzo - filítica que compõe a CqfNW, foto tirada a partir CdbSW, Silva (2000).

A CqfSE é composta na linha de crista por quartzito com espessura 30 metros e nos flancos por filito com espessura de 400 metros (fig.16). O pacote é mergulhante para Sudeste 70° . Os pontos mais altos desta linha apresenta altitudes média de 1030 metros, com desenvolvimento longitudinal de dezenas de quilômetros. Sua extensão entre os diques de diabásio é de 1.700 metros.

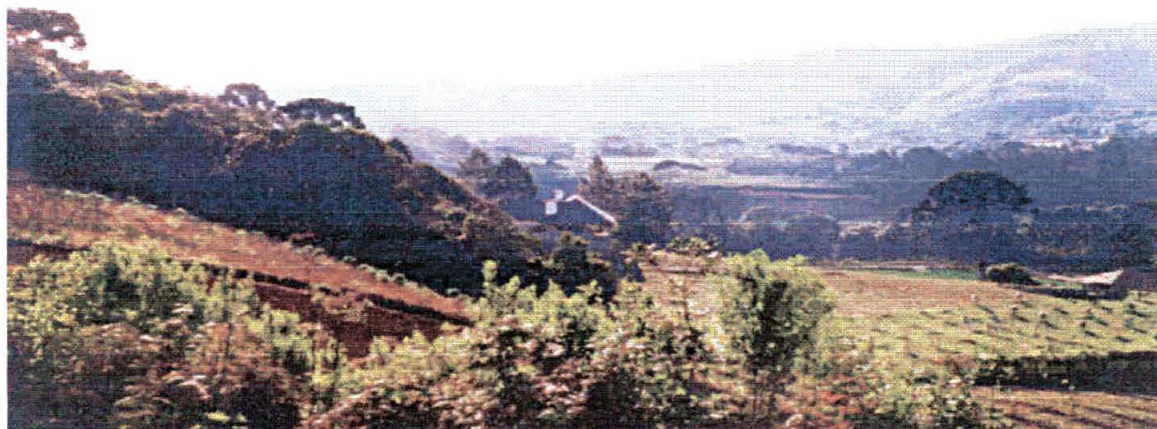


Fig. 16. Foto da Vista da crista quartzo - filítica que compõe a CqfSE, Silva (2000).

De um modo geral, o relevo da área estudada, é dissecado, com predomínio de vertentes convexas nos topos de composição quartzítica ou diabásica, retilíneas nas médias e baixas encostas de composição filítica , finalmente tornando-se côncavas na porção de base, coincidente ao domínio dos mármore carstificados.

As vertentes das Cdb's tendem à um perfil mais abrupto na extensão de afloramento da rocha básica suavizando-se a partir de seu encobrimento pelos filitos. O mesmo ocorre nas Cqfs respectivamente na transição quartzito/filito.

Na área de abrangência dos mármore, devido ao fenômeno da carstificação são evidentes formas cársticas, localmente representadas por dolinas de recarga, de descarga e sumidouros, conferindo um modelado ondulado característico.

As dolinas encontradas na área investigada têm forma circular a elíptica, larguras e profundidades variadas, contornos sinuosos e não angulosos, podendo estar preenchidas com água em função do regime das precipitações. O alinhamento de dolinas, verificado no mapa de formas cársticas sugere um controle estrutural dessas formas, caracterizando-as como dolinas de dissolução relacionadas à absorção do escoamento superficial, de forma difusa e concentrada ao longo de fraturas e juntas.

4.4.2. Condicionamento Hidrográfico

A bacia do Ribeirão da Onça, apresenta suas nascentes a altitudes de 1.100 m, na localidade de Fervida, sendo subdividida em uma série de *tanques* interconectados pela drenagem secundária, correspondendo sua vazão de base ao cruzar a linha de contato com o complexo Gnáissico Migmatítico, ao somatório da vazão de base em cada tanque.

O compartimento é seccionado pela linha de interflúvio entre as bacias do rio Água Comprida e Palmital.

A rede de drenagem superficial nas rochas filíticas e quartzíticas é densa e dendrítica, com cursos irregulares, isto ocorre pelo fato dessas rochas serem pouco permeáveis, facilitando o escoamento superficial. Por outro lado o relevo acentuado, nessas áreas, aumenta o gradiente dos rios predominando as atividades erosivas e transportadoras, terminando a forma de vales em “v” fechados e pouco assimétricos, principalmente nos rios de primeira ordem que são predominantes, encaixados em zonas de falhas ou de fraturas.

Os rios refletem claramente as características da geologia local, mostrando padrões que denotam a influência dos sistemas de falha e fraturas existentes, seguindo muitas vezes no sentido NW-SE, sobre diques rebaixados topograficamente pelo intemperismo, ou paralelos a estas estruturas.

O padrão de drenagem reflete a estrutura geológica local sobre as rochas carbonáticas (mármore dolomíticos e calcíticos), a densidade de drenagem superficial é de moderada a baixa, sendo os rios em sua maioria secundários, longos e com trechos retilíneos apresentando poucos afluentes.

Por estarem sobre rochas carbonáticas extremamente solúveis, a permeabilidade é alta, com rápida infiltração d'água no subsolo e consequentemente com um baixo escoamento superficial.

O padrão geral de drenagem, reflete a estrutura geológica local, sendo definido os principais compartimentos litológicos, mármore (dolomíticos e calcíticos), que são caracterizados pelo padrão retangular com baixa densidade de drenagem, reflexo do substrato carbonático altamente fraturado, controlado pela direção das cristas de quartzitos e diabásio. Nos filitos e quartzitos, a drenagem é em maior número, pela baixa permeabilidade do terreno, exibindo um padrão dendrítico onde os canais são mais curtos e irregulares.

Em alguns trechos ocorre a interceptação dos cursos superficiais, por dolinas ou sumidouros, adquirindo-se caráter subterrâneo.

Além da drenagem superficial, a região abriga parte do aquífero subterrâneo cárstico, considerado também como um manancial de abastecimento.

A formação da rede de drenagem subterrânea, ocorre devido à infiltração da água superficial, através de pontos de fragilidade da rocha (fissuras e diáclases), que promovem a dissolução química da rocha carbonática provocando um alargamento dessas fendas e formando assim, aberturas de formas variáveis e desenvolvendo inúmeros canais e condutos segundo os planos estruturais da rocha, por onde fluem as águas de infiltração.

No final do trajeto, a água retorna muitas vezes a superfície como nascentes, possantes surgências contribuindo diretamente com a vazão da drenagem superficial.

A intermitência das drenagens efluentes , até o ponto de surgência existente, pode estar relacionada ao rebaixamento piezométrico ocasionado pela captura ocorrida.

É evidente o aumento da densidade de drenagem nos flancos das rochas limitantes, (filitos, quartzitos e diques de diabásio), com padrão dendrítico, fato este indicativo da baixa permeabilidade do substrato, o que associado a alta declividade favorece de forma significativa à escorrência.

Estes talwegues apresentam um caráter coletor das águas de precipitação, desaguando e promovendo infiltração efetiva na medida que atingem as áreas dolinizadas.

A partir deste ponto, a drenagem torna-se esparsa e até ausente, qualificando excelentes condições de permeabilidade em subsuperfície, o que associado a suavização do relevo, promove a diminuição do escoamento superficial e aumento da infiltração.

4.4.3. Compartimentação Hidrogeológica

O aquífero Cárstico, enquadram-se quanto ao armazenamento, como do tipo secundário, com porosidade resultante dos processos de dissolução efetivados no corpo da massa carbonática, podendo do ponto de vista hidráulico comportarem-se de forma livre ou confinada, dependendo das relações do pacote carbonático do aquífero com as limitantes impermeáveis.

Ao contrário dos demais aquíferos, apresentam uma característica peculiar de variação de volume de armazenamento, ao longo do tempo, através do consumo da massa carbonática pelos processos de dissolução.

A existência de tal tipo de aquífero, pressupõe a presença de massas de rocha com grande capacidade de dissolução, associadas a um clima que possibilite superávit hídrico, sendo a água o agente dinâmico ativo para o seu desenvolvimento.

As fronteiras impermeáveis, que delimitam a massa de rocha solúvel, representam o limite máximo de evolução dos processos de carstificação, sendo o potencial aquífero tanto maior quanto maior o volume da referida rocha.

A extensão da carstificação, em profundidade, esta condicionada a um ou mais níveis de base, onde se efetiva a descarga do manancial, normalmente com águas saturadas em relação ao constituinte solúvel da rocha, possibilitando assim a renovação nas áreas de recarga com águas subsaturadas as quais tornarão o processo em atividade.

A ausência do pacote solúvel, por inexistência ou atingimento do substrato impermeável, da oferta d'água por flutuações climáticas e ou de um nível base de descarga, são fatores que juntos ou de forma isolada, inviabilizam o processo de carstificação.

O Grupo Açungui é composto por uma seqüência de rochas epimeta sedimentares, as quais se limitam com as rochas Granitóides do Embasamento Cristalino por uma linha quebrada de falhas inversas, de direção geral NE-SW, cerca de 7 km ao norte de Curitiba.

Constitui-se predominantemente de Filitos, Quartzitos, Mármore Calcíticos e Dolomíticos, Mica xistos, Metarcósios, Conglomerados e Metabasitos lenticulares, orientados segundo a direção geral NE-SW.

Em sentido transversal a esta direção, mais especificamente na direção NW-SE, o pacote metamórfico foi seccionado por um notável enxame de diques de diabásio, de idade Mesozóica, correspondendo aos condutos de alimentação dos derrames basálticos da Formação. Serra Geral.

Em termos hidrogeológicos, o contexto morfoestrutural acima delineado, condiciona uma compartimentação onde verifica-se massas carbonáticas (Mármore calcíticos e dolomíticos) com excelentes condições de porosidade e permeabilidade, limitadas por fronteiras praticamente impermeáveis (cristas de filito e quartzitos entrecortadas por diques de diabásio), com padrão geométrico tipicamente losangular, constituindo cada losângulo uma unidade com características similares as demais, porém com comportamento independente.

O arcabouço hidrogeológico assim constituído, em termos figurativos assemelharia-se à uma série de "tanques", interligados entre si por vertedouros de topo, correspondendo estes últimos a drenagem de superfície.

Os fatores intervenientes na amplitude da carstificação e seu condicionamento hidráulico, para cada tanque, são representados por:

- volume de massa carbonática entre as fronteiras impermeáveis,
- grau de solubilidade em função da composição química da rocha
- densidade de fraturamentos da mesma
- relações estratigráficas entre as litologias impermeáveis e o pacote carbonático
- volume de água circulante, através da descarga de base superficial ou profunda, com a drenagem de superfície.

Cada célula losangular, apresenta parâmetros hidráulicos próprios, tais como área de recarga, área de descarga, piesometria, grau de confinamento, volume de armazenamento, porosidade efetiva e permeabilidade, os quais dependerão do maior ou menor desenvolvimento do aparelho cárstico na unidade.

Considerando a grande variação dos parâmetros hidráulicos de um unidade para outra, devido ao carácter compartimentado do aquífero, a abordagem para o detalhamento dos potenciais exploráveis deve ser feita célula a célula, mediante a identificação e quantificação dos principais fatores intervenientes de cada unidade.

A litologia é o fator determinante para a diferenciação do comportamento hídrico, em relação a Unidade do complexo Gnaissico Migmatítico, mais especificamente pela presença dos pacotes carbonáticos.

O caráter diferenciador, é a capacidade de dissolução apresentada pelos mármore, uma vez serem os mesmos constituído essencialmente de carbonatos de cálcio e magnésio. A exposição dos pacotes carbonáticos, intensamente fraturados, à um clima úmido estabelecido a partir do período Quaternário, onde predomina um superávit de água no balanço hídrico, ocasionou significativos processos de dissolução dos mesmos.

Os processos de dissolução, ampliam extraordinariamente o volume de vazios, originalmente apresentado pelos fraturamentos existentes nos mármore carbonáticos, incrementando concomitantemente a capacidade de armazenamento subterrâneo.

Segundo este modelo evolutivo, pode-se determinar as áreas com os condicionamento hidrogeológico, onde definem-se em, áreas de recarga do aquífero, onde ocorre a absorção da água de precipitação, através das formas cársticas e armazenadas nos condutos subterrâneos. Enquanto que as áreas de descarga do aquífero são definidas pelas ocorrências de inúmeras surgências, contribuindo para o volume de águas de superfície.

4.5. Zona de Recarga do Aquífero

Corresponde a porção mais elevada, e intensamente dolinizada, com ausência de curso de rio, localizando-se imediatamente em seqüência a quebra de relevo a partir da qual assinala a transição entre estas e as rochas silicatadas insolúveis, (Fig. 17).

O relevo é caracteristicamente plano ondulado, com uma altitude média de 870 metros, representando o potencial hidráulico de recarga no compartimento

A cobertura é feita por solo do tipo siltico argiloso coluvial, com espessura e permeabilidade média, onde se instala um manto de saturação freática, o qual vai alimentar através dos condutos principais a recarga do aparelho cárstico subjacente.

As dolinas e até mesmo coalescências de duas ou mais dolinas e sumidouros, são as principais formas cárstica de recarga na área, localizadas e mapeadas, conforme mapa de formas cársticas (Fig.18). São estruturas fechadas, com seus cones de absorção totalmente preenchidos por material residual ou coluvial, conferindo, deste modo uma boa capacidade de depuração das águas provenientes da superfície.

A zona de recarga é caracterizada pelo predomínio de dolinas e ouvalas em regiões com declividades relativamente planas a onduladas, onde ocorre formação de rochas carbonáticas, atuando como condutoras das águas para o lençol subterrâneo, sendo que as mesmas evoluem para sumidouro através do processo de dissolução das rochas pela percolação d'água através das fissuras, caracterizando rapidamente a absorção d'água de superfície, (Fig. 19).

O preenchimento das áreas dolinizadas com aterros e outros dejetos, podem inviabilizar o processo de recarga do aquífero, mascarando o terreno para a construção civil, causando impactos geotécnicos, (Fig. 20).

O escoamento subterrâneo, é do tipo livre, havendo grandes dificuldades nestas áreas de implantação de açudes para uso agrícola, denotando a alta capacidade de infiltração do solo.

A drenagem de superfície é incipiente, e em muitos casos ocorrendo nestas porções o desaparecimento de pequenas drenagens oriundas das rochas

silicatadas à montante, coletado deste modo as águas do freático e do escoamento superficial para a efetiva recarga do aquífero.

A piesometria do freático é positiva em relação ao aquífero, sendo a água circulante normalmente não saturada em seus constituintes químicos, com menor conteúdo de sólidos totais dissolvidos, e portanto capaz de dissolução durante seu fluxo. Nesta região predomina o intemperismo químico sobre o físico na esculturação das formas cársticas.

A determinação da área de recarga foi possível devido ao grande número de formas cársticas de absorção, sendo constituída por dolinas, ouvalas e sumidouros. Estas formas constituem o sistema de recarga e evolução do aquífero cárstico, conduzindo as águas de superfície para o subsolo em profundidade.

Nas áreas de recarga o nível piezométrico encontra-se em maior profundidade e caracteriza-se pela presença de poucas surgências com pequenas vazões.

A piezometria nestas áreas definem-se através do nível do lençol freático, obtido pelos poços artesianos nºs (1 e 12), com nível mínimo de 6,30m no poço nº 1, e com 8,50m no poço nº 12, (conforme gráfico 2 e 3).



Fig.17. Foto Vista de área altamente dolinizada, determinando o sistema de recarga do Aquífero, região Norte da bacia, Silva (2000).



Fig. 19. Foto da zona de recarga com dolina típica, Silva (2001).



Fig.20. Foto da Zona de recarga, dolina sendo preenchida com aterros, região Norte da bacia, Silva (2001).

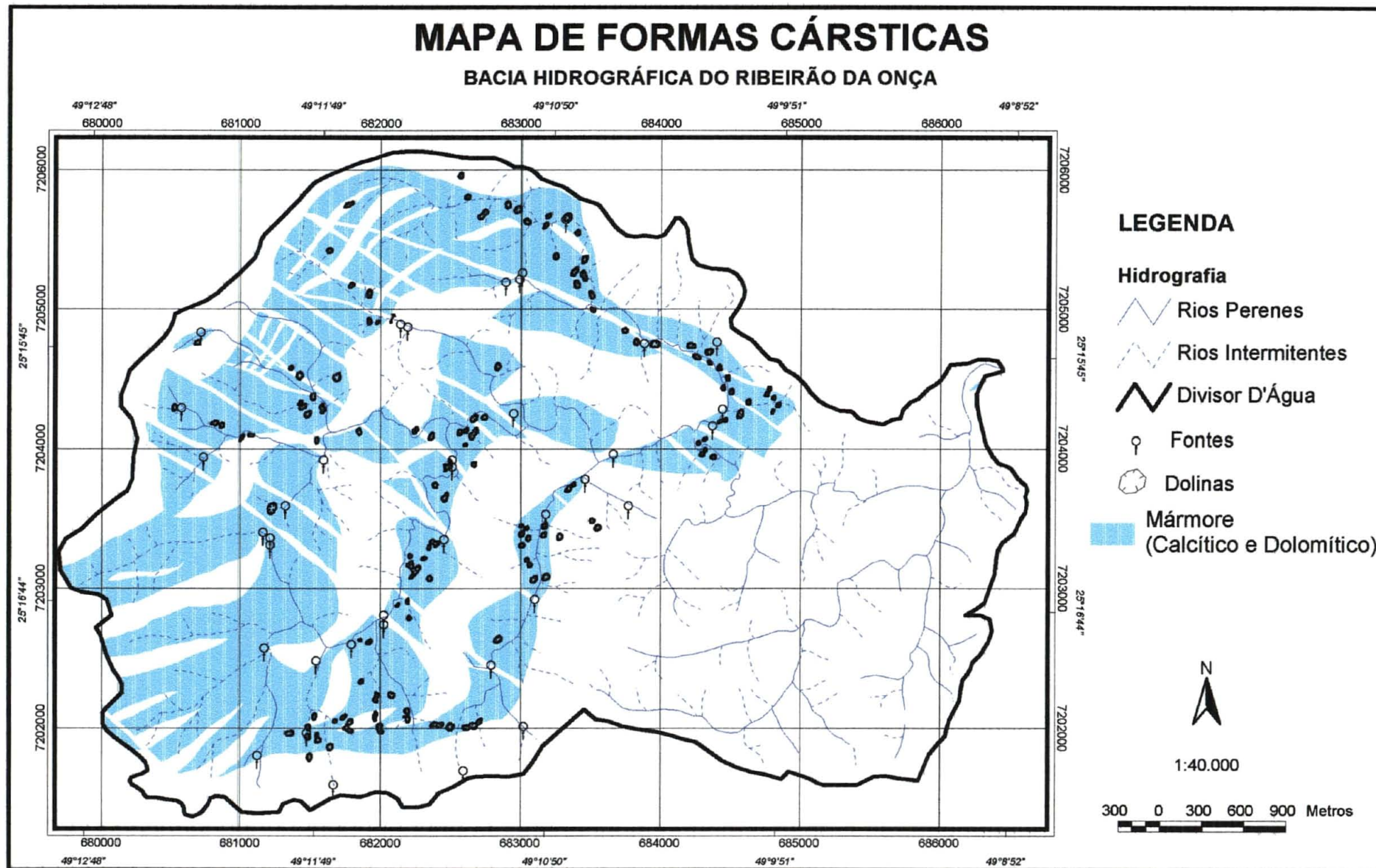


FIG. 18 - MAPA DE FORMAS CÂRSTICAS

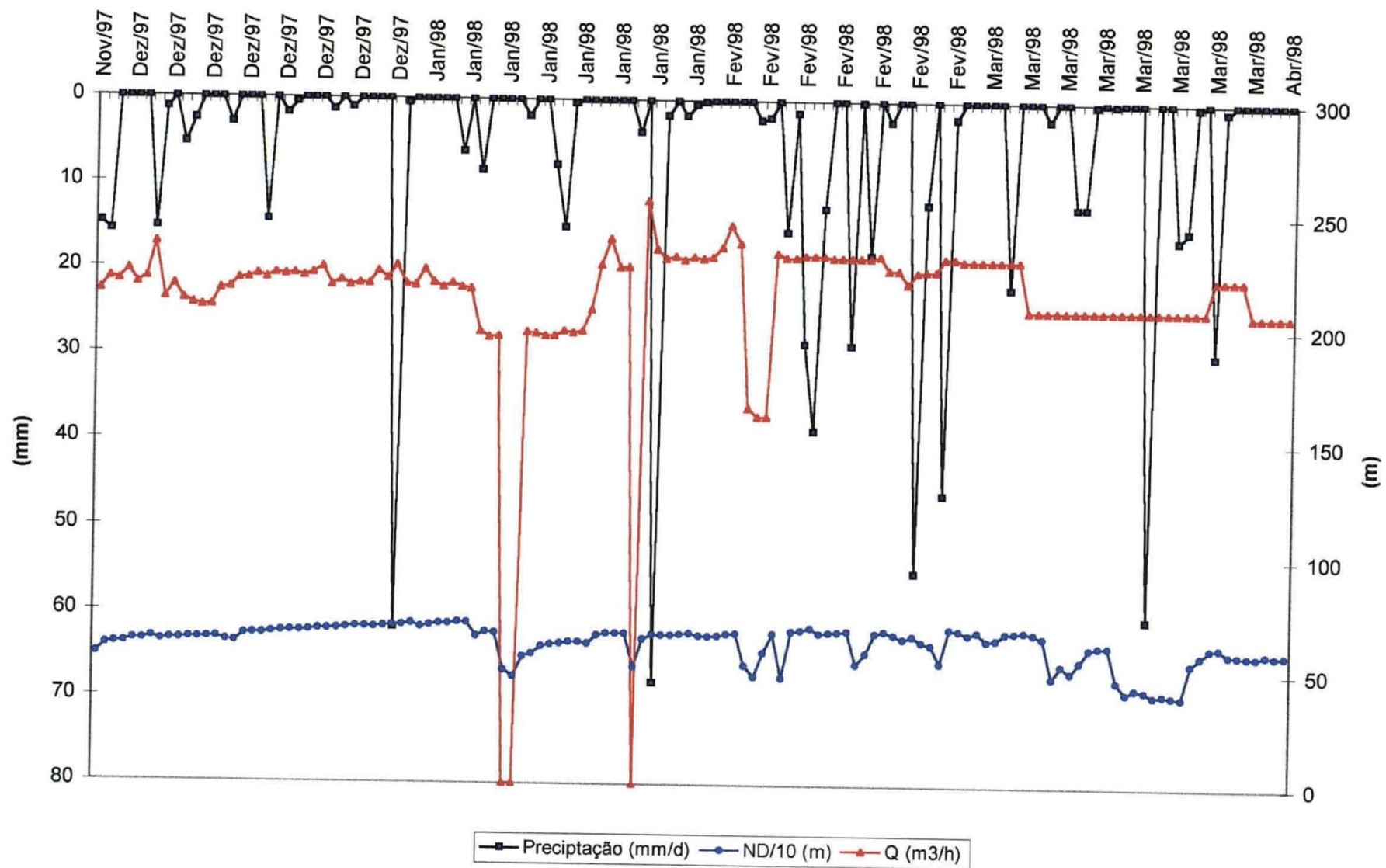


Gráfico 2 - Hietograma, Nível e Vazão do Poço 01 da Bacia do Ribeirão da Onça

4.6. Zona de Descarga do Aquífero

Em seqüência, na área de afloramento dos mármore, identifica-se nas porções mais baixas, correspondendo a um relevo aplainado a qual faz limite de forma brusca com a CdbNE, a ocorrência da única surgência do compartimento, ocasionada pelo barramento do fluxo subterrâneo pela fronteira impermeável.

A cobertura torna-se mais espessa, constituída por solo argiloso coluvial e eventualmente sedimentos areno-argilosos aluvionares, apresentando boa permeabilidade, com nível freático diretamente conectado ao aquífero.

A piesometria do Aquífero, em certos pontos, suplanta a altitude potenciométrica de superfície, originando nestes casos surgências naturais do manancial subterrâneo.

A drenagem de superfície torna-se permanente, alimentada pela descarga do freático, e nos pontos de surgência, além deste, diretamente pelo aquífero representando esta última a vazão de base do compartimento, (Fig. 21).

A água circulante tende à atingir a saturação dos seus constituintes químicos em solução. Nesta região predomina a desagregação física sobre a química na esculturação do aparelho cárstico, aparecendo uma forma doliniforme erosiva no ponto de surgência.

O escoamento é do tipo confinado, ou semiconfinado em relação ao freático, dependendo do diferencial de permeabilidade apresentado entre os dois meios de fluxo.



Fig. 21. Foto do ponto de descarga do aquífero, representado por surgência, Silva (2001)

O potencial do aquífero superficial é reduzido , sendo representado pelo nível freático desenvolvido na extensão dos solos, exteriorizando em superfície drenagem adensada e intermitente, característica de áreas com pequena capacidade de infiltração, tendo uma função coletora, para deságüe e infiltração a jusante nas áreas de recarga das rochas carbonáticas.

Os flancos mergulhantes de quartzito e filitos, funcionam como camadas confinantes dos mármore carstificados subjacentes, havendo nenhuma ou quase nenhuma interrelação direta, entre a hidráulica do freático estabelecido e o nível *piesométrico do aquífero*, apresentando escoamento do tipo livre no primeiro e confinado no segundo.

No que se refere a hidroquímica, as águas freáticas e as de escoamento superficial, apresentam baixo conteúdo de Sólidos Totais Dissolvidos e grau de saturação em relação ao CaCO_3 , em função do tempo de residência limitado. O pH normalmente tende a um caráter ácido, tanto mais quanto maior o desenvolvimento do horizonte orgânico do solo.

As características das águas, acima descritas assumem papel significativo no processo de carstificação, na medida em que escoam para zona de recarga e possuem alta capacidade de dissolução em relação aos carbonatos.

O fenômeno da carstificação gera condições altamente instáveis no substrato rochoso, pela presença de cavernas, preenchimento de áreas abatidas com material coluvial ou aluvionar e zonas intensamente dolinizadas. Segundo este condicionamento, tais regiões caracterizam-se como de grande risco para assentamentos urbanos, carecendo de estudos prévios para sua efetivação.

É importante ressaltar, com vistas as medidas de monitoramento e sistemática de utilização do aquífero, que os impactos geotécnicos decorrentes da exploração do mesmo , vão estar circunscritos a unidade celular onde é provocada a alteração, com pequeno ou nenhum reflexo nas células contíguas.

Tal condicionamento, direciona para uma avaliação caso a caso, segundo as características particulares de cada unidade, porém descarta a generalização de um alto grau de dificuldade para o todo , possibilitando uma gama ampla de situações onde o critério de seleção segundo menor grau de dificuldades para exploração, pode ser eleito.

No aspecto vulnerabilidade às contaminações, as surgências naturais (fontes) apresentam menores riscos que as zonas de recarga, visto ser influente

em relação a drenagem de superfície, isto é, o fluxo do manancial é do aquífero para a drenagem de superfície, havendo descarga através das fontes e nunca recarga, sendo portanto improváveis nestes locais contaminações, mantidas as condições naturais de surgência.

Tal situação pode ser modificada mediante rebaixamento da superfície piezométrica do aquífero, através do bombeamento do mesmo, assumindo assim um posicionamento inferior à drenagem de superfície, sendo neste caso recarregado pela mesma, ocorrendo a inversão de fluxo do aquífero, (Figs. 22,23 e 24).

Importante ainda alertar, que a zona de descarga de uma célula elevada, em relação a uma contígua, pode fornecer abastecimento para a zona de recarga da inferiormente situada através da drenagem de superfície, sendo este um aspecto a ser considerado nas medidas de proteção mesmo em áreas de surgência.



Fig. 22. Foto mostrando a área de inversão de fluxo, Silva (2001).



Fig. 23. Foto mostrando a extinção de surgências, transformando em área de inversão de fluxo, Silva (2000).



Fig. 24. Foto mostrando a alteração no fluxo d' água, transformando as surgências em sumidouros, ocorrendo a inversão de fluxo, Silva (2000).

4.7. Áreas de Afloramento da Rocha Carbonática

A área de afloramento das rochas carbonáticas, representa a exposição do aquífero propriamente dito, correspondendo normalmente as partes mais baixas da unidade , onde ocorrem os processos de recarga e descarga do mesmo, (Fig. 25).

Em termos de evolução do relevo, pela intensificação da carstificação, é uma região com constantes movimentações de caráter contínuo com intercalações de movimentos bruscos.

Do ponto de vista geotécnico, apresenta riscos de solapamentos por perda de material residual que preenche o cone das dolinas, pelo aumento da velocidade de fluxo durante bombeamentos. Trata-se de uma região com alto grau de dificuldades durante as perfurações, com constantes solapamentos, exigindo a utilização da sistemática de revestimento simultâneo.

O uso adequado desta área corresponderia à melhoria das condições de recarga tanto em qualidade como em quantidade. Este objetivo pode ser conseguido através da instalação de açudes para uso em piscicultura, representando estes uma reserva estratégica de acumulação de água durante a estação chuvosa onde ocorre o superávit hídrico.

O uso agrícola deve ser evitado, no que se refere a produção de hortigranjeiros, pela necessidade da utilização de fertilizantes e pesticidas, sendo o reflorestamento uma alternativa aceitável, uma vez que tende a recompor parcialmente as condições originais da paisagem.

Deve ser restringido o assentamento de moradias pela instabilidade geotécnica e pelo risco de contaminação por esgotos domésticos, não apresentando interesse para extração mineral uma vez que o calcário (Mármore), subjacente encontrar-se totalmente carstificado, (Fig. 26).

Os projetos hidrogeológicos, deverão convergir para dispositivos que promovam a recarga do aquífero, tais com poços para recarga artificial alimentados por escorrência superficial após percolação em filtros de grama ou granular.



Fig.25. Foto da área de recarga, limitante com relevo ondulado do Grupo Açungui, a NW da bacia, Silva (2000).



Fig.26. Foto da área de recarga, com limitante a Leste, ao fundo rochas inconsistentes do Grupo Açungui, Silva (2000).

A zona de descarga, apresenta menores riscos quanto a vulnerabilidade que a zona de recarga, visto ser influente em relação a drenagem de superfície, diminuindo as possibilidades de contaminações providas da mesma.

Importante no entanto alertar, que a zona de descarga de uma célula elevada, em relação a uma contígua, pode fornecer abastecimento para a zona de recarga da inferiormente situada através da drenagem de superfície, sendo este um aspecto a ser considerado nas medidas de proteção.

As áreas de descarga são definidas pela piezometria do aquífero que em certos pontos suplanta altitude potenciométrica de superfície, originando várias surgências (fontes) naturais do manancial subterrâneo, que alimentam o manancial de superfície. Sendo determinado o nível do lençol subterrâneo através dos poços artesianos n^{os} 10, 14, 15, apresentando-se entre 1,60m a 2,20m, de profundidade, muito próximo da superfície, caracterizado pela quase saturação do aquífero, conforme (gráfico. 4, 5 e 6).

Do ponto de vista geotécnico, apesar de se configurar como a área de maior potencial produtivo, é a que apresenta maiores possibilidades de riscos. Além dos solapamentos por perda de material residual de preenchimento das estruturas cársticas, adicionam-se os adensamentos das argilas de cobertura, decorrentes do rebaixamento do nível freático durante o bombeamento do aquífero.

A exploração do aquífero, próximo aos pontos de surgência, apresenta como inconveniente os efeitos de interferência, diminuindo a vazão ou até a completa extinção das mesmas.

A perfuração dos poços, à exemplo da zona de recarga, apresente alto grau de dificuldades, com as complicações adicionais advindas da maior espessura de cobertura e presença de materiais aluvionares inconsolidados, com alto grau de friabilidade, ocasionando constantes solapamentos e perda de circulação. Mais do que nunca, a utilização da metodologia de revestimento simultâneo torna-se indispensável.

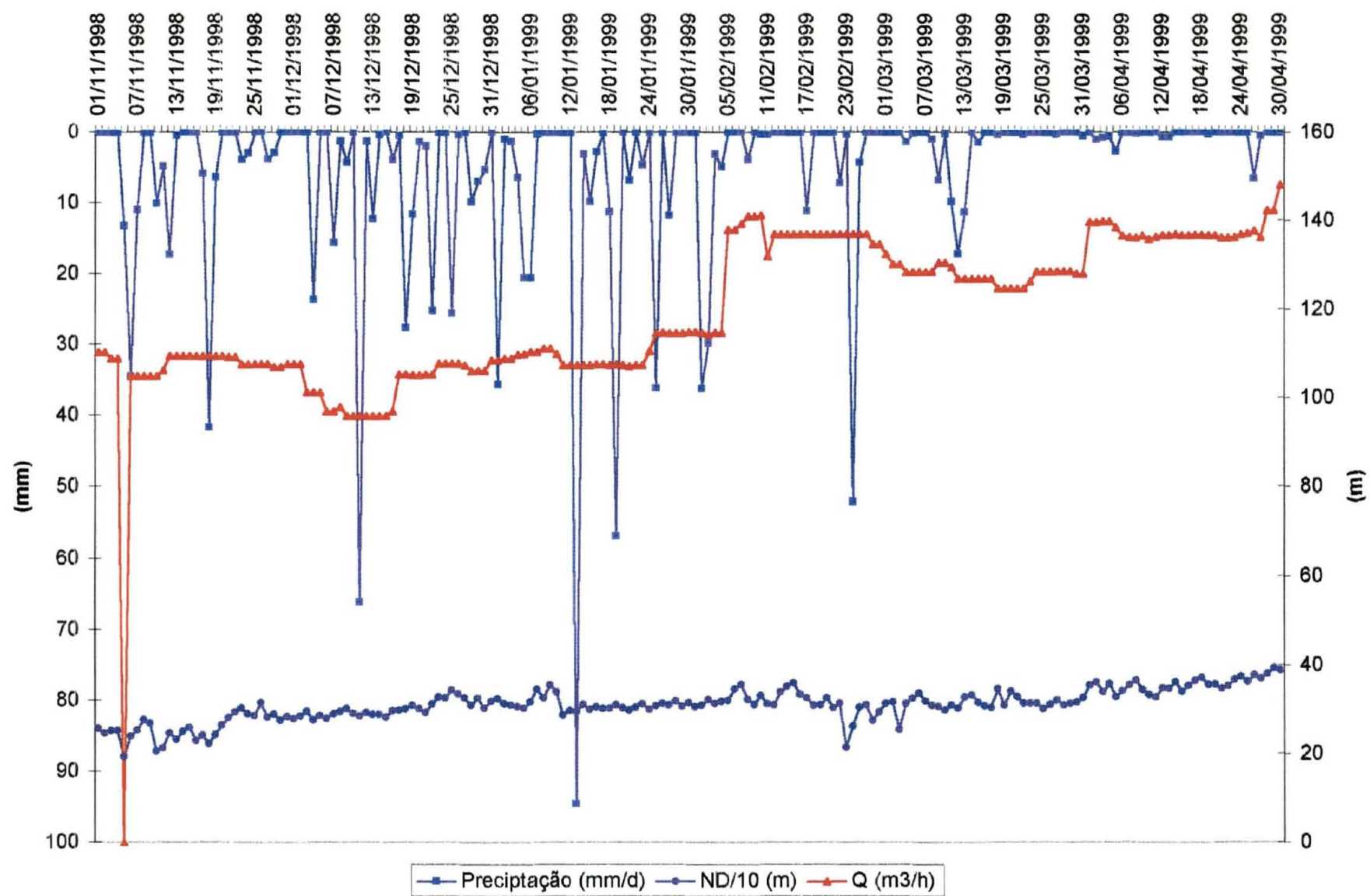


Gráfico 4 - Hietograma, Nível e Vazão do Poço 10 da Bacia do Ribeirão da Onça

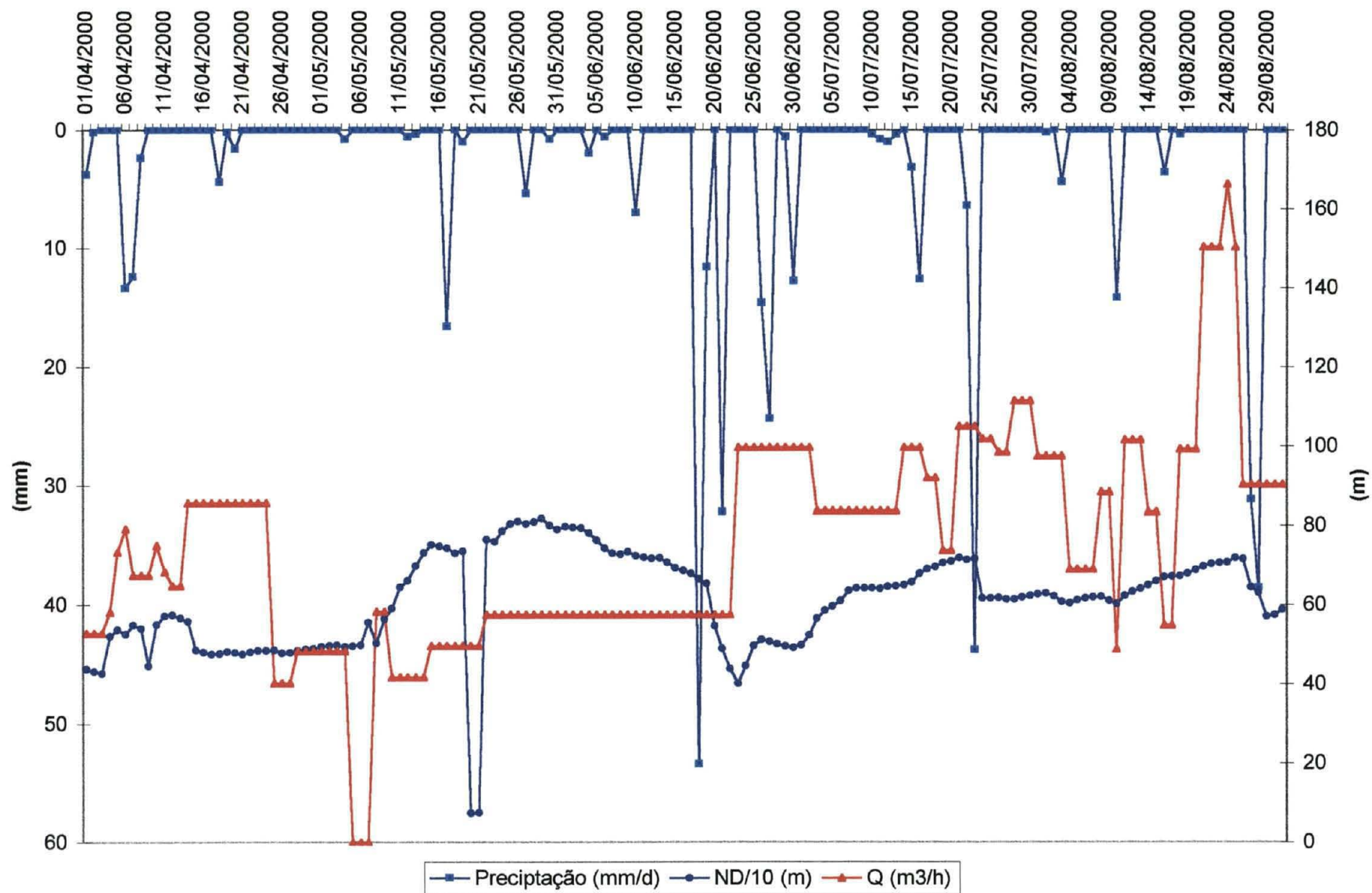


Gráfico 5 - Hietograma, Nível e Vazão do Poço 14 da Bacia do Ribeirão da Onça

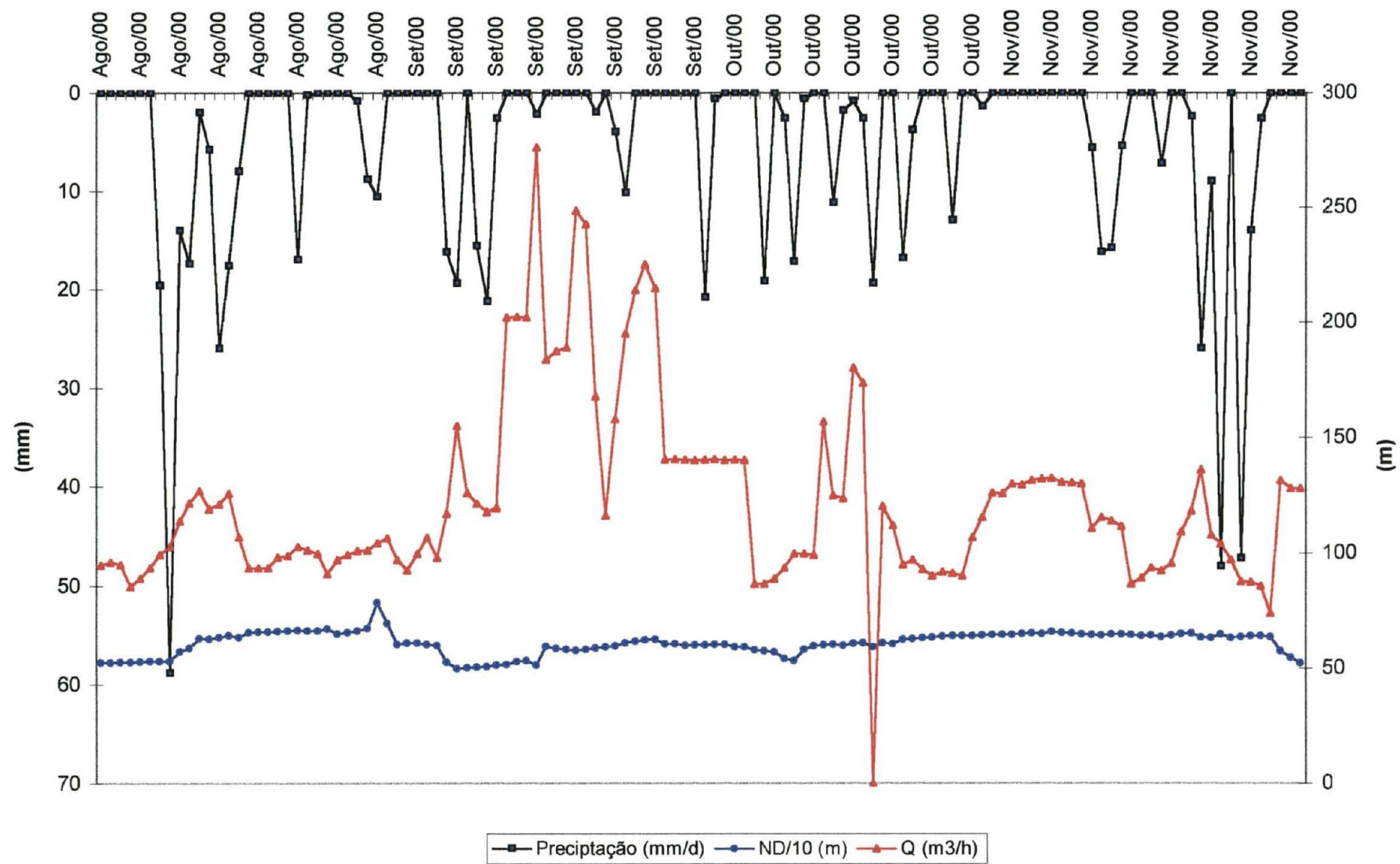


Gráfico 6 - Hietograma, Nível e Vazão do Poço 15 da Bacia do Ribeirão da Onça

Complementando o quadro das instabilidades geotécnicas nesta zona, são possíveis fenômenos de colapso de tetos de cavernas, devido ao alívio da pressão hidrostática vertical, ocasionado por rebaixamentos exagerados durante a exploração do aquífero. Estes eventos são de rápida duração e localizados, podendo afetar áreas com raio de mais de 500 metros ao entorno do ponto colapsado.

A hidrologia da bacia caracteriza-se em muitos segmentos da drenagem pela ausência de rios, que encontram-se sobre a morfologia carstica. Entretanto em muitas áreas são nítidos os traços deixados por antigos rios que desapareceram em função o alto grau de dissolução das rochas carbonatadas (mármore calcíticos e dolomíticos), sendo definidos como rios intermitentes, que em épocas de cheias permanecem em suas atividades e contribuindo para o manancial de superfície e subterrâneo, (Fig. 27).

Nas áreas elevadas com altitudes acima de 950m, com formação de rochas carbonáticas a declividade 5 %, ocorre a formação de dolinas e sumidouros, formas cársticas de absorção, tornando-se rápido o processo de infiltração da água pluvial, definindo-se estas áreas como de recarga do aquífero, as características morfológicas a região determinam um baixo escoamento de superfície.

Onde o relevo é mais acidentado sobre rochas pouco permeáveis, (filitos, quartzitos e diques de diabásio), caracteriza-se o padrão dendrítico, com média e alta densidade, constituindo vales encaixados em forma de "V", com alto escoamento de superfície.

A dinâmica do relevo cárstico principia quando as águas de infiltração agem sobre as fissuras e diáclases da rochas, dando lugar aos processos de dissolução superficial, á medida que as fendas vão se alargando, originam-se condutos ou sumidouros, nos quais fluem as águas de infiltração, desta forma gera uma das características principais do carste, ou seja, uma drenagem de sentido vertical e subterrânea, seguindo fendas condutos e cavernas, resultando na ausência parcial de cursos de águas superficiais.

A rede de drenagem encontra-se condicionada as estruturas morfológicas, as quais decorrem da expansão diferencial das litologias. Segundo este condicionamento são também estabelecidas as zonas de recarga e descarga do aquífero, correspondendo respectivamente as entradas e saídas d' água do

sistema, sendo que através da exploração de poços em épocas de estiagem prolongada ocorre o processo de inversão de fluxo, conforme mapa de recarga e descarga.

A integração e interpretação dos resultados permitiu a geração, entre outros produtos, mapa de recarga e descarga e inversão de fluxo, (fig. 28).

Após definição das áreas as mesmas foram quantificadas, tendo a área de recarga 6,533 Km², sendo constituída por rochas carbonáticas marmores (dolomítico e calcítico), com 28,73% da bacia do Ribeirão da Onça, (Tabela 1).

A área descarga abrange 2,197 Km², sendo constituída por rochas carbonáticas marmores (dolomítico e calcítico), sendo 9,66% da bacia do Ribeirão da Onça. Quanto a área de inversão de fluxo, ela localiza-se sobre de descarga somando 0,294 Km², sendo 1,29% da área da bacia do Ribeirão da Onça.

Os outros 13,715 Km², da bacia do Ribeirão da Onça são caracterizados como área de circulação de superfície com 60,32%, constituído por rochas silicatadas, (filitos quartzitos), devido a baixa permeabilidade, ocorre maior fluxo de superfície, alimentando as áreas de recarga constituídas por rochas carbonáticas jusantes as silicatadas, (Tabela 1).

Tabela – 1 Quantificação das unidades hidrogeológicas da bacia do Ribeirão da Onça Colombo – Pr.

Unidade Hidrogeológicas	Quantificação de Áreas		
	Área (km ²)	Porcentagem (%)	Unidades Geológicas
Área de Recarga	6.533	28,73	Mármore (dolomíticos/calcíticos)
Área de Descarga	2.197	9,66	Mármore (dolomíticos/calcíticos)
Área de Inversão de Fluxo	0,294	1,29	Mármore (dolomíticos/calcíticos)
Área de Circulação de Superfície	13.715	60,22	Filitos/quartzitos e diques de diabásio
Área total	22.739	100%	

Fonte: Mapa de recarga e descarga da bacia do Ribeirão da Onça Colombo-Pr.

Notas: Dados extraídos da delimitação do mapa de recarga e descarga da bacia do Ribeirão da Onça Colombo-Pr.

Os elementos fisioclimáticos influenciam no funcionamento do sistema hidrogeológico cárstico, sendo a precipitação a principal responsável pelas entradas no sistema. A parcela de água precipitada sendo que efetivamente se infiltra abastece a recarga do aquífero, e depende do processo de interceptação vegetal, e dos solos, que provocam diferentes índices de infiltração.

A extensão da carstificação, em profundidade esta condicionada a um ou mais níveis de base, onde se efetiva a descarga do manancial. Normalmente as águas na descarga são saturadas em relação ao constituinte solúvel da rocha, enquanto na recarga as mesmas são subsaturadas, garantindo o mínimo perenidade em atividade.

O arcabouço hidrogeológico, em termos figurativos, se assemelharia a uma série de “células” ou “tanques” interligados entre si por vertedouros de topo pela drenagem superficial.

Este condicionamento decorre da existência ou não de compartimentos a montante da área alvo, sendo que na linha de interflúvio não existe nenhum a montante.

O impacto devido ao bombeamento dos poços artesianos normalmente está associado à extensão do compartimento. Assim compartimentos com grandes áreas de massa carbonática, com uma distância inter diques considerável (superior a 500 m) vão apresentar impactos de menor ordem aos verificados em compartimentos pequenos outro aspecto que influi na intensidade do impacto é a posição em relação a bacia hidrográfica, sendo tanto maior quando mais próximo a linha de interflúvio.

No caso dos poços 10 e 14, são caracterizados por estarem em compartimentos com pequena área e próximos ao divisor das bacias do Iguaçu/Ribeira.

Os impactos observados pela exploração do aquífero através dos poços artesianos, foram inicialmente avaliados pela alteração do regime de fluxo da drenagem da área da bacia do Ribeirão da Onça.

Como resultados, são verificados rebaixamentos do nível do aquífero, principalmente em épocas de estiagem, na ordem de 4m, para vazões de 100m³/h, afetando de tal modo a drenagem de superfície capaz de possibilitar o fenômeno de inversão de fluxo localmente, (gráfico 4 e 5).

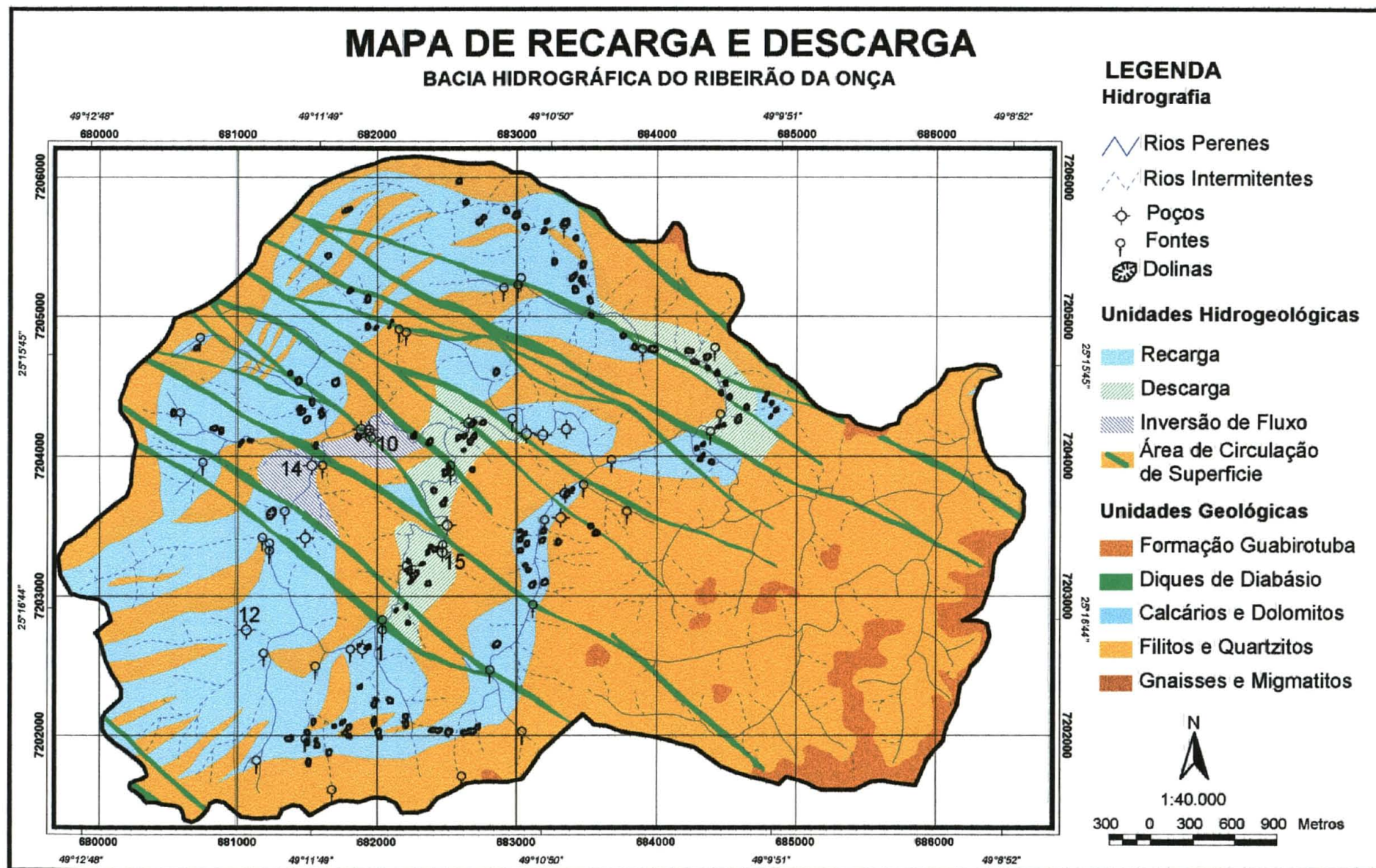
Os impactos geotécnicos por outro lado coincidem com a presença de estrutura de colapso, geomorfologicamente denominadas de “dolinas e ouvalas”.

Estas estruturas como já comentado, também são responsáveis pela recarga e descarga do aquífero, suscetíveis a contaminação decorrentes de práticas agrícolas inadequadas.

Em termos de concepção e exploração deste manancial há que se ressaltar que, o armazenamento e a circulação da água no carste pode, por efeitos dos processos de dissolução, diferir substancialmente das leis de fluxo que governam os demais meios fraturados. Em estudos deste gênero, um dos problemas básicos à concepção hidrogeológica é a delimitação do aquífero em profundidades e a avaliação dos seus parâmetros hidrodinâmicos. A solução destas questões é imprescindível ao cálculo dos volumes de água estocados abaixo das flutuações anuais de nível da zona saturada.



Fig.27. Foto mostrando o Rio intermitente na área de descarga, processo de inversão de fluxo, Silva (2000).



4.8. Áreas de Afloramento das Rochas Silicatadas

A área de afloramento das rochas silicatadas, (filitos e quartzitos) representa os limites da evolução dos processos de carstificação em cada unidade, correspondendo as partes mais elevadas da unidade e meia encosta, e sendo as responsáveis pelo confinamento do aquífero em profundidade. Abastece as zonas de recarga situadas a jusante, em função da baixa permeabilidade do substrato privilegiando o escoamento superficial.

Em termos de evolução do relevo, tende diferenciarem-se positivamente, em relação as área carstificadas, sendo uma região mais estável quanto a movimentações.

No que tange a vulnerabilidade do aquífero, trata-se da região menos suscetível, estando isolada do mesmo, pela cobertura quartzo filítica, afastando as possíveis contaminações de superfície, estando apta portanto a um desenvolvimento mais amplo do uso e ocupação do solo.

Do ponto de vista geotécnico, não apresenta riscos de solapamentos por estar fora da região de carstificação superficial devido a ausência da massa carbonática.

Apresenta o inconveniente, do incremento acentuado do gradiente da encosta, favorecendo assim aos processos erosivos, com possíveis ravinamentos.

O uso adequado desta área corresponderia à melhoria das condições da estabilidade de encosta, evitando acentuação dos processos erosivos, e o devido controle e se necessário tratamento dos efluentes gerados pela gama mais ampla de usos permitidos. Tal preocupação, justifica-se pela manutenção da qualidade d'água responsável pela recarga a jusante.

Este objetivo pode ser conseguido através da instalação de reservatórios decantadores destinados a lavagem de hortaliças, e abastecedouros comunitários para aplicação de pesticidas e lavagem de tanques, numa primeira etapa.

O uso agrícola pode ser desenvolvido, implementado novas tecnologias de manejo como a adubação orgânica, irrigação por gotejamento, hidroponia e plantio em curvas de nível, as quais visam a melhoria do ambiente

hídrico por diminuição do uso de fertilizantes e pesticidas, otimização do uso da água e contenção de perdas de solo respectivamente.

Nas partes mais íngremes das encostas, sugere-se o reflorestamento como uma alternativa recomendável evitando assim uma perda de solo acentuada, além de, recompor parcialmente as condições originais da paisagem.

O assentamento de moradias da comunidade rural, deve privilegiar os topos das limitantes impermeáveis ou as meia encostas filíticas, por sua estabilidade geotécnica e pela excelente capacidade de depuração dos esgotos domésticos por filtração em solo e mato de alteração de constituição argilosa.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Morfológicamente a região estudada caracteriza-se por alternância de linhas de cristas com direção NE/SW, onde predominam camadas de filitos, quartzitos e NW/SE os diques de diabásio respectivamente, entremeados por vales e planícies, com predominância de mármore calcíticos e dolomíticos nas áreas rebaixadas paralelas as cristas de filitos e quartzitos. Tal morfologia é reflexo da erosão diferencial e dos processos de dissolução, que atuam de forma mais intensa nas rochas carbonatadas. Em setores elevados coincidentes com flancos de dobras, as formas cársticas encontradas normalmente são as dolinas e eventualmente sumidouros.

O padrão de drenagem superficial é retangular com baixa densidade nas áreas dos mármore, passando a dendrítico, com média e alta densidade nos demais tipos litológicos (filito, quartzitos e diques de diabásio), evidenciando sítio de permeabilidade e infiltração preferencial nos primeiros, apresentando planícies ao longo dos canais principais com padrão de drenagem retangular com predomínio de vales assimétricos, pois sofre influência de controle estrutural.

Do ponto de vista hidrogeológico, o reconhecimento das estruturas mapeadas é de fundamental importância uma vez que as mesmas são responsáveis pela recarga e evolução do aquífero cárstico existente. A presença de várias surgências, e poços artesianos com o nível estático próximo a superfície entre (1,60 a 2,20 m), são indicativos da quase total saturação do aquífero.

Tal condicionamento decorre de uma precipitação anual média de 1.500mm/ano, a qual garante um superávit para recarga dos volumes armazenados.

O condicionamento climático, instalado a partir do Quaternário, leva inevitavelmente uma completa saturação das estruturas de armazenamento, as quais são controladas pelo potencial hidráulico da drenagem de superfície atual.

Esse condicionamento é eventualmente modificado em períodos de grandes estiagens, acelerado pela exploração intensa do manancial subterrâneo, alterando o fluxo básico da drenagem de superfície. Este comportamento no entanto é revertido após ultrapassado o período de estiagem.

Especificamente, quanto a questão da exploração da água subterrânea, o número e a taxa de bombeamento dos poços deveriam ser ajustados, as características físicas e hidráulicas do aquífero em caso contrário, continuarão a ocorrer os fenômenos de subsidência do solo e esgotamento do aquífero, transformando áreas de descarga em recarga, constituindo áreas de inversão de fluxo. Sendo que a exploração de água nos poços 10 e 14 não podem ocasionar rebaixamento de nível dinâmico de 3 m de profundidade a partir do nível do solo, constatou-se que o rebaixamento superior a estas profundidades causam a inversão de fluxo na drenagem, o qual transforma áreas de descarga em recarga.

As fontes naturais, topograficamente mais elevadas são as mais impactadas com o bombeamento simultâneo dos poços, ocasionando redução das descargas da cabeceira, a exemplo do ocorrido no rio Ribeirão da Onça, comprometendo a perenidade do manancial em alguns compartimentos.

Nestas áreas a drenagem é incipiente, sendo comum seu desaparecimento ao escorrer sobre as rochas carbonáticas carstificadas.

A piesometria do aquífero em certos pontos suplanta a altitude potenciométrica de superfície, originando nestes casos surgências naturais do manancial subterrâneo. A partir daí a drenagem de superfície torna-se permanente, predominando a ação do intemperismo físico sobre o químico na esculturação do aparelho cárstico, podendo aparecer formas doliniformes erosivas nos pontos de surgência. O aquífero tem um comportamento hidráulico do tipo confinado ou semi-confinado.

A área de afloramento das rochas carbonáticas, representam a exposição do aquífero propriamente dito, coincidindo com as áreas de recarga e descarga do mesmo.

A zona de recarga, no que tange a vulnerabilidade do aquífero trata-se da região que requer maiores cuidados representando o caminho de acesso principal, das possíveis contaminações de superfície, devendo portanto obedecer as maiores restrições quanto ao uso e ocupação do solo.

A zona de descarga apresenta menor vulnerabilidade do que a zona de recarga, visto ser influente em relação a drenagem de superfície, diminuindo as possibilidades de contaminações na mesma.

A exploração do aquífero, próximo aos pontos de surgências, apresenta como inconveniente os efeitos de interferência, diminuindo a vazão ou até a completa extinção das mesmas.

Tal situação pode ser controlada estabelecendo-se uma vazão de bombeamento para um nível dinâmico que não cause a inversão. A ferramenta para esta definição é o monitoramento contínuo do nível dinâmico dos poços e sua respectiva vazão.

Este aquífero é qualificado como sendo de alto grau de vulnerabilidade, sendo que os riscos de contaminação são maiores quanto menor for a espessura do solo. As áreas de recarga com espessura de solo incipiente, assim como nas áreas onde a densidade de fraturamentos e estruturas cársticas (dolinas, ou valas, sumidouros, etc.) é maior, portanto são necessárias precauções para a proteção do manancial subterrâneo.

Constituir sistema de monitoramento para as causas e efeitos potencialmente provocados pelo bombeamento dos poços artesianos, realizando avaliação criteriosa dos fenômenos de subsidência do solo, as alterações das vazões de surgências naturais e os rebaixamentos dos níveis de água dos poços da região.

Nas áreas de recarga deve ser evitado o uso agrícola, no que se refere a produção de hortigranjeiros, pela necessidade da utilização de fertilizantes e agrotóxicos, sendo o reflorestamento uma alternativa aceitável, uma vez que tende a recompor parcialmente as condições da paisagem.

O uso adequado desta área corresponderia à melhoria das condições de recarga tanto em qualidade como em quantidade.

Dentro do contexto delineado evidencia-se que a área de um modo genérico não é adequada para adensamentos populacionais tipo loteamentos, devendo observar as vocações naturais impostas pelas características do meio físico qual sejam, a produção de água para abastecimento público, reflorestamento, uso agrícola controlado como cinturão verde na produção de hortigranjeiro.

Este objetivo pode ser conseguido através da instalação de açudes para uso em piscicultura, representando estes uma reserva estratégica de acumulação de água durante a estação chuvosa, onde ocorre o superávit hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. de. **Novas ocorrências de fósseis no Pré Cambriano brasileiro.** *An. Acad. Bras. Ci.*, **28**(4): XLIV-XLV., 1956.
- BARTHELMES, H. **Ante Projeto de divisão Regional do Estado do Paraná.** *Bol. Div. Geogr., Curitiba – Pr.*, p 1 – 47, 1964.
- BEHRENS, H.; BENISCHKE, R.; BRICELJ, M.; HARUM, T.; KASS, W.; KOSI, G.; LEDITZKY, H. P.; MAURIN, V.; RANJNER, V.; RANK, D.; REICHERT, B.; STADLER, H.; STICHER, W.; TRIMBORN, P.; ZONER, H. **Investigation with natural and artificial tracers in the karst aquifer of the Lurbach system (Peggau – Tanneben – Semriach, Austria).** *Steir. Beitr. Z. Hydrogeologie*, **43**: 9 – 158, 1992.
- BIGARELLA, J. J. **Estudos preliminares na Série Açungui II - Rochas calcáreas.** *Arq. Biol. Tecnol.*, **3**:201-354., 1948.
- BIGARELLA, J. J. **Estudos preliminares na Série Açungui III - Rochas calcáreas da faixa central e sua classificação.** *Arq. Biol. Tecn.*, **8**:473-502., 1953.
- BIGARELLA, J. J. & SALAMUNI, R. **Estudos preliminares na Série Açungui V - Estruturas organógenas nos dolomitos da Formação Capiru, estado do Paraná.** *Dusenja*, **7**(6):317-23., 1956.
- BIGARELLA, J. J. & SALAMUNI, R. **Contribuição à geologia da região sul da Série Açungui (Paraná).** *Bol. Paulista de Geog.*, **29**: 3-19., 1958a.
- BIGARELLA, J. J. & SALAMUNI, R. **Estudos preliminares na Série Açungui VIII - A Formação Votuverava.** *Bol. Inst. Hist. Nat. Geol.*, nº 2, 6 p., 1958b.
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. **Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil.** *Bol. Par. Geogr.*, **16/17**: 117-51., 1965.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F.; PASSOS, E.; SUGUIO, K. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Florianópolis, Ed. UFSC. 3v, V.1, 425 p., 1994.
- CAMPANHA, G.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, M. A. **Considerações sobre a organização litoestratigráfica e evolução tectônica da faixa de**

- dobramento Apiaí.** In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, Curitiba, 1987. *Atas...* Curitiba, SBG. v.2, p.725-42.
- CANALI & MURATÓRI, A.M. **Síntese da evolução Geomorfológica da bacia Sedimentar de Curitiba – Pr.** 3º Simpósio Regional de Geologia, Curitiba, v 2: 363 – 381, 1981.
- CANALI, N. E. e OKA-FIORI, C. **Análise Morfométrica da Rede de drenagem da Área do Parque Marumbi – Serra do Mar – Pr.** In Atas do 3º Simpósio Brasileiro de Geologia, Curitiba, 1987 v 1:21-40.
- CARLSTON, C. W. **The relation of free meandering geometry to stream discharge and its geomorphic implications.** American Journal of Science, 263 (10): 864-885, 1965.
- CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do Relevo.** Ed. Contexto, São Paulo, 1991.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. **“Análise de Bacias Hidrográficas”** in Geomorfologia São Paulo, Ed. Edgar Blucher. 1991.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**, São Paulo, Ed. Edgar Blucher, 2^a ed. 1980.
- CHRISTOLOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia.** São Paulo, Hucitec. 106 p., 1979.
- CHRISTOLOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2 ed. São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda. 188 p., 1980.
- CORDANI, U. G. & BRITO NEVES, B. B. **The geologic evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic.** *Revista Brasileira de Geociências*, 12(1-3):78-88., 1982.
- DIAS, M. V. F. & SALAZAR JR, O. **Geologia da sequência Antinha - Grupo Açungui, PR.** In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, Curitiba, 1987. *Atas...* Curitiba, SBG. v. 1, p. 263-79.
- DNAEE - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Dados hidrológicos. Estações Colombo (1975-1985), Juruqui-Alm. Tamandaré (1986-1995), Montante Aterro Sanitário (1994-1995).** Curitiba, Banco de Dados Regional do Sistema de Informação de Dados Hidrológicos, DNAEE., 1995.

- FAIRCHILD, T. **New stromatolites from the Upprer Pre-Cambriam Açungui Group, eastern Paraná, Brazil and their potencial stratigraphic use.** *Bol. IG/USP*, **13**:43-50., 1982.
- FERREIRA, A. M. **Micro-bacia do Ribeirão da Onça colombo – Pr. Caracterização Físico – Geográfica Parcial e Zoneamento Ambiental**, (Monografia de conclusão de graduação do curso de Geografia – Instituto de geociências / UFPR), 1999.
- FIORI, C. O. e CANALI, N. E. **“Geomorfologia da área do parque Marumbi- Serra do Mar - Pr., in 3 Simpósio Sul Brasileiro de Geologia, Curitiba 1987.**
- FIORI, A. P. **Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba.** São Paulo, 261 p. (Tese de livre-docência - Instituto de Geociências/USP)., 1990.
- FIORI, A. P. **Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui - PR.** *Bol. IG-USP, Série Científica*, **23**:55-74., 1992.
- FIORI, A. P. **Evolução geológica da Bacia Açungui.** *Bol. Paran. Geoc.*, **42**:7-27., 1994.
- FIORI, A. P. & GASPAR, L. A. **Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Açungui (Proterozóico Superior), Paraná, sul do Brasil.** *Boletim IG-USP, Série Científica*, **24**:1-19., 1993.
- FOLHA TOPOGRÁFICA DE COLOMBO (A-103) Escala 1:20.000
Confeccionada
pela COMEC, (1976).
- FORD, D. C. & WILLIAMS, P. W. **Karst geomorphology and hydrology.** London, Unwin Hyman, 601 p., 1985.
- FRAGA, C. G. **Análise introdutória à hidrogeologia do “karst” paranaense.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8, Recife, 1994. *Anais...* Recife, ABAS/DNPM/CPRM, p.244-55., 1994.
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A., **Groundwater.** New Jersey, Prentice-Hall, 604 p., 1979.
- FRITZON, E. **Avaliação do impacto da contaminação por nitrogênio na bacia hidrográfica cárstica de fervida – Ribeirão da Onça – Colombo-PR.,** (Dissertação de Mestrado, em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias- UFPR., 1999.

- FUCK, R. A.; MARINI, O. J.; TREIN, E.; MURATORI, A. **Geologia do leste paranaense**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, 1971. *Anais...* São Paulo, SBG., pg. 121-30.
- GANS (Department of Geography, University of Lubljana, Slovenia). Origin of the term "Karst", and the transformation of the Classical Karst (Kras). **Environmental Geology**, Estocolmo, v.21, p. 110-114, 1993.
- GUERRA, A. M. **Processos de carstificação e hidrogeologia do Grupo Bambuí na região de Irecê, Bahia**. São Paulo, 132 p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP). 1986.
- GUERRA, A. M. & MELLO, J. C. **Locação de poços com base na relação entre estrutura e feições cársticas - Grupo Bambuí - Irecê - BA**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 4. Brasília. *Anais...* Brasília, ABAS/DNAEE/DNPM., p. 208-20, 1986.
- HASUI, Y.; & ALMEIDA, M. A. **Aspectos Estruturais na Geomorfologia do Pré-Cambriano de SP e PR**. *Anais XXX Congr. Bras. Geol. Recife*. P. 360 – 367, 1978.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. **The Ribeira Folded Belt**. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(4): 257-66., 1975.
- HORTON, R. E. **Erosional development of their streams and drainage: hydrophysical approach to quantitative morphology**. *Bull. Geol. Soc. Am.*, Colorado, 56: 275- 370, 1945.
- HORTON, R. E. **Erosional development of streams and drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology** *Bull. Geol. Soc. América* 56 (3): 275-370, 1965.
- IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**, Londrina, Fundação Instituto Agronômico do Paraná. 38 p., 1978.
- IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Dados hidrometeorológicos. Estação Fazenda Experimental da Faculdade de Agronomia**, período 1986-1995. Londrina, Banco de Dados Hidrometeorológicos, IAPAR.
- ITCF - INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS. **Atlas do Estado do Paraná**. Curitiba, ITCF. 73 p., 1987.

- KARMANN, I. ***Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do Alto Vale do Rio Ribeira de Iguape, sudeste do Estado de São Paulo***. São Paulo, 228 p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP), 1989.
- KLEIN, R. **Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar a planta fitogeográfica de parte dos municípios de Rio Branco do Sul, Alm. Tamandaré e Colombo (PR)**. *Bol. UFPR. Inst. Geol. e Geogr. Fís.*, nº 3, 93 p., 1962.
- KÖEPPEN, W. **Climatologia, con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura economica, México. 1948, 478 p.
- KOHLER, H. C. Geomorfologia cárstica. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. da, organizadores. ***Geomorfologia fluvial: uma atualização de conceitos***. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil. p. 309-334.
- KOHLER, H. C. 1989. ***Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa - MG***. São Paulo, 113 p. (Tese de Doutorado - Departamento de Geografia/USP), 1994.
- KRESIC, N. A. **Review and selected bibliography on quantitative definition of Karst hidrogeological systems**. International Contributions to Hidrogeology, 1 (3):51-87, 1992.
- LISBOA, A. A. **Proposta de Metodologia, para Avaliação Hidrogeológica do Aquífero Cárstico, Compartimento de São Miguel – Almirante Tamandaré – Pr.**, Dissertação de mestrado – Instituto de Geociências – UFPR, 143 p. 1997.
- LLADÓ, N. L. ***Fundamentos de hidrogeologia cárstica***. Madrid, Editorial Blume. 269 p., 1970.
- MAACK, R. ***Geografia física do Estado do Paraná***. Curitiba, Livraria José Olympio Editora S. A., 1968.
- MACHADO, L. M. P. **A estruturação das redes hidrográficas e o modelo hortoniano: “uma nova revisão”** Ver. Geografia, 2 (1): 111-122, 1983.
- MARINI, O. J.; TREIN, E.; FUCK, R. A. **O Grupo Açungui no Estado do Paraná**. *Bol. Paran. Geoc.*, **23/25**:43-103, 1967.
- MARINI, O. J. & BOSIO, N. J. **Estromatólitos algáceos em dolomitos do Grupo Açungui**. *Ciência e Cultura*, **21**:219-20, 1969.
- MELO, M. S. **Contribuição à Geologia do Alto Capivari**. Congr. Bras. De Geol., 31, Anais; Baln. Camboriu,, p. 2943 – 2955, 1980.

- MORISAWA, M. **Streams-their dynamics and morphology**; McGraw-Hill Book Co. New York. 174 p. 1968.
- NIMER, E. **Clima “in” Geografia do Brasil – Região Sul**. IBGE. São Paulo, p201 – 251, 1977.
- OKA FIORI, C. **Análise morfológica das vertentes da região do Médio Rio Iguaçu. PR. Resumo das comunicações da 39ª Reunião anual da SBPC. Brasília, 1987.**
- OLIVEIRA, E. P. de. **Geologia e recursos minerais do estado do Paraná. Monogr. Serv. Geol. Mineral. Bras., nº 6, 172 p., 1927.**
- REIS NETO, J. M. & SOARES, P. C. **Um estudo de caracterização termo-dinâmica de micro-estruturas dos grupos Açungui e Setuva (PR)**. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, Curitiba, Atas... Curitiba, SBG. v.1, p.147-65., 1987.
- ROSS, J. L. S – **Geomorfologia: Ambiental e Planejamento**. Coleção Repensando e Geografia, Contexto, São Paulo, 1990.
- SANCHEZ, L. E. 1984. **Cavernas e paisagem cárstica do Alto Vale do Ribeira/SP: uma proposta de tombamento**. *Espeleo-Tema*, 14:9-21, 1984.
- SANCHEZ, L. E. **O sistema, unidade lógica de referência dos estudos espeleológicos**. *Espeleo-Tema*, São Paulo, 16:3-14, 1992.
- SILVA, A. B. da. **Análise morfoestrutural, hidrogeológica e hidroquímica no estudo do aquífero cárstico do Jaíba, norte de Minas Gerais**. São Paulo, 190 p. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências/USP)., 1984a.
- SILVA, A. B. da. **Evolução química das águas subterrâneas**. . *Águas Subterrâneas*, 7:05-12. 1984b.
- SILVA, A. B. da. **Contribuição da geologia estrutural na exploração de águas subterrâneas do Grupo Bambuí na região norte do Estado de Minas Gerais**. In: Congresso Brasileiro DE Águas Subterrâneas, 4. Brasília, 1986. *Anais...*Brasília, ABAS/DNAEE/DNPM., pg. 251-62., 1986.
- SILVA, R. da.. **Identificação de formas cársticas através de análises geomorfológicas (das quadriculas A-90, A-100, A-101) da região metropolitana de Curitiba**. Curitiba, 68 p. (Trabalho de graduação do curso de geografia - Departamento de Geografia/UFPR)., 1991.
- SILVA, R. da. & OKA – FIORI, C. **Estudo das Formas Cársticas como Base para o Gerenciamento do uso do Manancial Subterrâneo na Região de**

- Almirante Tamandaré e Rio Branco do Sul – Paraná.** Boletim Paranaense de Geociências – UFPR, Curitiba n.º 44, pg. 59 – 66, 1996.
- SMART, J. S. **“Statistical geometry similarity in draining networks”**. IBM Rsearch, (RC 3859), 1972.
- SOARES, P. C. **Seqüências tecto-sedimentares e tectônica deformadora no centro-oeste do escudo paranaense.** In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, Curitiba, Atas... Curitiba, SBG. v.2, pg.743-71., 1987.
- STRAHLER, A. N. **“Dynamic basis of Geomorphology”**, Geol. Soc. America Bulletin, 63, pg. 923-938., 1952.
- SUMMERFIELD, M. A., ***Global geomorphology: An introduction to the study of landforms***. Essex, Longman Scientific & Technical. 533 p., 1994.
- SUDERHSA - SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL., ***Atlas Hídrico do Estado do Paraná***, (No prelo), 1997.
- SUREHMA - SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE., ***Estudo da bacia hidrográfica do Rio Barigüí***. Curitiba, SUREHMA. 82 p., 1986.
- TEIXEIRA, A. L. A. et al. **Introdução aos Sistemas de Informação Geografica**, Rio Claro, 1992.

ANEXO

Tabela 2 – Nível Dinâmico e Vazão Poço 1

Data/Hora	ND (m)	Q (m ³ /h)	Data/Hora	ND (m)	Q (m ³ /h)
27.11.97 16:59	5,61	215,2	14.01.98 15:10	6,05	196,1
28.11.97 17:40	6,01	220,4	15.01.98 09:46	6,13	196,2
29.11.97 06:37	6,06	219,3	16.01.98 10:46	6,17	198,4
30.11.97 10:33	6,1	224	17.01.98 10:25	6,24	197,4
01.12.97 15:09	6,23	218	18.01.98 09:25	6,24	198,4
02.12.97 13:26	6,23	220,7	19.01.98 14:45	6,17	207,8
03.12.97 11:15	6,34	236	20.01.98 18:40	6,55	227,5
04.12.97 09:42	6,21	212	21.01.98 10:10	6,63	238,8
05.12.97 10:53	6,26	217,6	22.01.98 08:31	6,64	226,4
06.12.97 10:11	6,27	211,3	23.01.98 08:35	6,64	226,6
07.12.97 09:35	6,32	209,2	24.01.98 08:35	5,18	0
08.12.97 08:30	6,32	208,4	25.01.98 11:00	6,4	255,7
09.12.97 08:20	6,34	208,6	26.01.98 13:47	6,59	234,5
10.12.97 08:20	6,36	215,8	27.01.98 08:00	6,57	230,6
11.12.97 08:20	6,23	216,5	28.01.98 08:40	6,58	231,5
12.12.97 08:17	6,18	220,5	29.01.98 08:05	6,62	229,8
13.12.97 08:01	6,5	220,7	30.01.98 07:42	6,67	231,1
14.12.97 09:58	6,52	222,4	31.01.98 08:10	6,55	230,6
15.12.97 07:36	6,53	220,9	01.02.98 09:46	6,52	231,1
16.12.97 11:27	6,6	222,9	02.02.98 09:51	6,55	235,6
17.12.97 11:08	6,63	222,5	03.02.98 10:07	6,63	245,2
18.12.97 08:20	6,66	222,9	04.02.98 09:59	6,67	237,4
19.12.97 11:08	6,67	221,7	05.02.98 09:46	5,26	165,1
20.12.97 10:24	6,69	223	06.02.98 09:46	4,78	161,2
21.12.97 10:05	6,75	225,7	07.02.98 07:59	5,83	161,2
22.12.97 08:38	6,75	217,9	08.02.98 09:46	6,67	233,2
23.12.97 09:53	6,78	220	09.02.98 09:46	4,74	231,2
24.12.97 08:55	6,81	217,8	10.02.98 09:46	6,78	231,2
25.12.97 12:37	6,85	218,8	11.02.98 09:46	6,81	232
26.12.97 09:16	6,86	218,4	12.02.98 11:03	6,93	232
27.12.97 11:12	6,83	223,9	13.02.98 08:15	6,68	232
28.12.97 10:23	6,89	221	14.02.98 09:46	6,72	231,2
29.12.97 15:01	6,92	226,6	15.02.98 09:46	6,76	231,2
30.12.97 09:38	6,94	218,5	16.02.98 10:40	6,8	231,2
31.12.97 09:10	7,01	217,8	17.02.98 09:46	5,34	231,2
01.01.98 12:30	6,85	224,8	18.02.98 09:46	5,83	231,2
02.01.98 09:45	6,95	219,2	19.02.98 09:00	6,7	232
03.01.98 09:32	7,02	217,2	20.02.98 10:45	6,8	226
04.01.98 10:08	7,02	218,9	21.02.98 09:46	6,64	226
05.01.98 11:05	7,08	217,2	22.02.98 09:46	6,47	220
06.01.98 09:36	7,06	216,6	23.02.98 09:46	6,59	225
07.01.98 16:24	6,47	197,8	24.02.98 09:46	6,34	225,4
08.01.98 11:45	6,66	195,4	25.02.98 09:46	6,21	225,4
09.01.98 11:25	6,61	196	26.02.98 09:46	5,42	231,2
10.01.98 11:20	5	0	27.02.98 10:28	6,9	231,2
11.01.98 10:43	4,71	0	28.02.98 09:46	6,84	230
12.01.98 08:30	5,58	197,7	01.03.98 08:52	6,67	230
13.01.98 09:33	5,72	197,2	02.03.98 07:52	6,79	230

Fonte: SUDERHSA/UFPR/SANEPAR

Notas: Dados extraídos do monitoramento de poços do Projeto Carste

Tabela 2 - (Continuação) Nível Dinâmico e Vazão Poço 1

Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)
03.03.98 11:24	6,4	230
04.03.98 13:27	6,46	230
05.03.98 12:17	6,74	230
06.03.98 17:54	6,78	230
07.03.98 11:29	6,82	208,2
08.03.98 20:32	6,72	208,2
09.03.98 15:51	6,56	208,2
10.03.98 15:53	4,8	208,2
11.03.98 14:12	5,35	208,2
12.03.98 20:14	5,05	208,2
13.03.98 15:33	5,52	208,2
14.03.98 09:35	6,1	208,2
15.03.98 16:58	6,17	208,2
16.03.98 04:04	6,19	208,2
17.03.98 14:21	4,66	208,2
18.03.98 00:02	4,16	208,2
19.03.98 12:59	4,35	208,2
20.03.98 14:04	4,27	208,2
21.03.98 17:24	4,05	208,2
22.03.98 14:25	4,11	208,2
23.03.98 10:34	4,05	208,2
24.03.98 13:04	3,99	208,2
25.03.98 22:01	5,46	208,2
26.03.98 12:55	5,8	208,2
27.03.98 07:39	6,14	222,3
28.03.98 14:23	6,19	222,3
29.03.98 21:51	5,89	222,3
30.03.98 21:21	5,87	222,3
31.03.98 13:59	5,82	206,4
01.04.98 15:04	5,81	206,4
02.04.98 11:19	5,92	206,4
03.04.98 02:51	5,86	206,4
04.04.98 15:21	5,87	206,4

Fonte: SUDERHSA/UFPR/SANEPAR

Notas: Dados extraídos do monitoramento de poços do Projeto Carste

Tabela 3 – Nível Dinâmico e Vazão Poço 10

Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)	Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)
01.11.98 16:37	2,6	110,5	20.12.98 13:26	3,04	105,3
02.11.98 17:18	2,48	110,5	21.12.98 12:33	2,95	105,4
03.11.98 13:21	2,54	109	22.12.98 13:35	3,14	105,4
04.11.98 13:42	2,54	109	23.12.98 15:10	3,29	107,9
05.11.98 13:14	1,95	0	24.12.98 14:20	3,27	107,9
06.11.98 13:27	2,41	105	25.12.98 10:26	3,45	107,9
07.11.98 17:10	2,55	105	26.12.98 11:29	3,36	107,9
08.11.98 16:49	2,79	105	27.12.98 12:19	3,27	107,4
09.11.98 13:59	2,71	105	28.12.98 13:45	3,1	106,2
10.11.98 11:02	2,08	105	29.12.98 15:55	3,26	106,2
11.11.98 10:42	2,14	106,3	30.12.98 13:45	3,04	106,2
12.11.98 14:01	2,48	109,51	31.12.98 10:25	3,19	108,5
13.11.98 15:36	2,34	109,51	01.01.99 11:29	3,25	108,5
14.11.98 16:48	2,52	109,51	02.01.99 13:15	3,14	108,9
15.11.98 11:50	2,61	109,51	03.01.99 17:20	3,1	108,9
16.11.98 12:10	2,31	109,51	04.01.99 17:48	3,07	109,8
17.11.98 16:30	2,44	109,51	05.01.99 14:18	3,04	109,87
18.11.98 10:26	2,24	109,51	06.01.99 13:18	3,18	110,5
19.11.98 12:45	2,45	109,51	07.01.99 12:17	3,46	110,5
20.11.98 13:07	2,66	109,51	08.01.99 17:25	3,27	111,3
21.11.98 15:20	2,83	109,3	09.01.99 10:36	3,57	111,3
22.11.98 16:18	2,96	109,3	10.01.99 11:26	3,41	110
23.11.98 10:15	3,05	107,6	11.01.99 11:00	2,89	107,49
24.11.98 11:51	2,91	107,6	12.01.99 13:55	2,99	107,49
25.11.98 13:39	2,87	107,6	13.01.99 10:14	2,97	107,49
26.11.98 12:10	3,16	107,6	14.01.99 11:45	3,13	107,49
27.11.98 13:22	2,83	107,6	15.01.99 08:46	3,01	107,49
28.11.98 14:39	2,9	107	16.01.99 10:12	3,07	107,8
29.11.98 13:52	2,76	107	17.01.99 11:29	3,03	107,8
30.11.98 13:32	2,84	107,6	18.01.99 12:00	3,03	107,49
01.12.98 15:27	2,8	107,6	19.01.99 11:33	3,11	107,6
02.12.98 14:03	2,86	107,6	20.01.99 10:07	3,05	107,49
03.12.98 16:59	2,97	101,3	21.01.99 14:37	2,99	107,2
04.12.98 17:49	2,78	101,3	22.01.99 13:17	3,06	107,49
05.12.98 14:05	2,88	101,3	23.01.99 11:44	3,14	107,49
06.12.98 16:19	2,81	97	24.01.99 16:39	3,01	110,7
07.12.98 13:00	2,91	97	25.01.99 11:30	3,09	114,8
08.12.98 16:54	2,97	98	26.01.99 16:28	3,15	114,9
09.12.98 13:15	3,04	96	27.01.99 13:25	3,11	114,8
10.12.98 10:45	2,92	96	28.01.99 14:37	3,2	114,8
11.12.98 13:57	2,87	96	29.01.99 13:16	3,08	114,8
12.12.98 10:04	2,95	96	30.01.99 15:38	3,16	115
13.12.98 10:30	2,9	96	31.01.99 16:16	3,07	115
14.12.98 12:55	2,9	96	01.02.99 12:34	3,1	114,8
15.12.98 13:21	2,83	96	02.02.99 10:30	3,23	114,3
16.12.98 12:21	2,98	97	03.02.99 13:43	3,14	114,8
17.12.98 10:53	2,99	105,4	04.02.99 12:52	3,18	114,8
18.12.98 13:09	3,02	105,4	05.02.99 12:39	3,21	138
19.12.98 14:45	3,1	105,3	06.02.99 11:51	3,46	138

Fonte: SUDERHSA/UFPR/SANEPAR

Notas: Dados extraídos do monitoramento de poços do Projeto Carste

Tabela 3 - (Continuação) Nível Dinâmico e Vazão Poço 10

Data/Hora	ND (m)	Q (m³/h)	Data/Hora	ND (m)	Q (m³/h)
07.02.99 10:35	3,57	139,3	25.03.99 14:50	3,02	128,6
08.02.99 12:59	3,23	141	26.03.99 12:57	3,13	128,6
09.02.99 12:50	3,11	141	27.03.99 11:52	3,22	128,6
10.02.99 15:37	3,32	141,3	28.03.99 10:36	3,1	128,6
11.02.99 10:59	3,14	132	29.03.99 10:52	3,14	128,6
12.02.99 13:53	3,11	137,1	30.03.99 11:33	3,17	128,1
13.02.99 17:27	3,41	137,1	31.03.99 13:09	3,27	128,1
14.02.99 17:25	3,53	137,1	01.04.99 10:15	3,55	139,8
15.02.99 17:05	3,61	137,1	02.04.99 09:38	3,62	139,8
16.02.99 10:18	3,35	137,1	03.04.99 10:45	3,41	140
17.02.99 15:45	3,27	137,1	04.04.99 14:35	3,59	140
18.02.99 13:33	3,1	137,1	05.04.99 16:25	3,3	138,7
19.02.99 12:39	3,11	137,1	06.04.99 12:42	3,43	136,8
20.02.99 10:38	3,27	137,1	07.04.99 14:38	3,57	136,4
21.02.99 11:38	3,05	137,1	08.04.99 16:25	3,67	136,3
22.02.99 13:04	3,15	137,1	09.04.99 12:43	3,45	136,8
23.02.99 13:23	2,15	137,1	10.04.99 10:15	3,34	136
24.02.99 11:42	2,63	137,1	11.04.99 11:20	3,28	136,4
25.02.99 12:59	3,06	137,1	12.04.99 12:41	3,49	136,8
26.02.99 12:41	3,11	137,1	13.04.99 10:53	3,48	136,8
27.02.99 11:55	2,77	134,8	14.04.99 15:54	3,62	137
28.02.99 13:24	2,96	134,8	15.04.99 16:05	3,41	136,8
01.03.99 12:33	3,15	132,6	16.04.99 12:54	3,54	136,8
02.03.99 13:03	3,18	130,3	17.04.99 17:15	3,66	136,9
03.03.99 11:11	2,56	130,3	18.04.99 13:45	3,72	136,9
04.03.99 12:37	3,15	128,5	19.04.99 12:45	3,57	136,8
05.03.99 13:18	3,26	128,5	20.04.99 13:07	3,58	136,8
06.03.99 15:46	3,37	128,5	21.04.99 14:15	3,49	136,3
07.03.99 15:30	3,19	128,5	22.04.99 12:05	3,54	136,3
08.03.99 12:54	3,09	128,5	23.04.99 13:39	3,69	136,4
09.03.99 12:42	3,07	130,6	24.04.99 10:12	3,76	137,1
10.03.99 09:49	2,99	130,6	25.04.99 14:50	3,65	137,3
11.03.99 11:31	3,1	129,5	26.04.99 11:36	3,79	137,9
12.03.99 13:29	3,04	126,9	27.04.99 11:40	3,71	136,4
13.03.99 10:05	3,28	126,9	28.04.99 14:55	3,83	142,5
14.03.99 11:51	3,33	126,9	29.04.99 10:05	3,95	142,5
15.03.99 11:55	3,16	126,9	30.04.99 14:25	3,9	148,3
16.03.99 13:58	3,08	126,9			
17.03.99 13:41	3,05	126,9			
18.03.99 13:21	3,48	124,77			
19.03.99 12:57	3,1	124,77			
20.03.99 12:20	3,42	124,77			
21.03.99 13:31	3,29	124,77			
22.03.99 12:58	3,15	124,77			
23.03.99 15:20	3,15	126,4			
24.03.99 13:15	3,15	128,6			

Fonte: SUDERHSA/UFPR/SANEPAR

Notas: Dados extraídos do monitoramento de poços do Projeto Carste

Tabela 4 - Nível Dinâmico e Vazão Poço 12

Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)	Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)
01.07.98 10:57	0	54,3	17.08.98 10:32	14,74	51,1
02.07.98 10:31	16,7	54,3	18.08.98 12:54	14,22	52,2
03.07.98 12:37	8,49	0	19.08.98 12:54	14,02	52,16
04.07.98 12:37	14,7	47,3	20.08.98 10:43	12,99	52,2
05.07.98 12:37	15,3	46,1	21.08.98 12:35	13,61	52,2
06.07.98 10:36	8,95	0	22.08.98 12:35	14,5	52,1
07.07.98 10:34	8,4	0	23.08.98 12:35	14,32	52,7
08.07.98 10:34	7,65	0	24.08.98 10:48	14,08	53
09.07.98 11:04	7,32	0	25.08.98 12:10	14,26	50,2
10.07.98 13:07	7,49	0	26.08.98 12:40	13,38	50,2
11.07.98 13:07	7,48	0	27.08.98 12:39	14,28	50,2
12.07.98 13:07	7,48	0	28.08.98 12:56	14,14	50,2
13.07.98 12:59	7,9	0	29.08.98 12:56	14,46	50,8
14.07.98 12:59	7,93	0	30.08.98 12:56	14,66	50,9
15.07.98 13:05	8,04	0	31.08.98 14:16	14,74	50,2
16.07.98 13:05	8,15	0	01.09.98 12:54	14,81	50,7
17.07.98 14:45	8,37	0	02.09.98 11:49	14,95	50,7
18.07.98 14:45	8,42	0	03.09.98 14:36	15,01	50,7
19.07.98 14:45	8,57	0	04.09.98 12:15	15,15	50,7
20.07.98 14:42	8,63	0	05.09.98 12:15	15,05	50,8
21.07.98 14:42	8,75	0	06.09.98 12:15	14,89	50,1
22.07.98 14:42	8,79	0	07.09.98 12:15	14,95	49,5
23.07.98 10:40	8,83	0	08.09.98 12:15	14,87	49,3
24.07.98 12:56	9,16	0	09.09.98 12:47	14,82	48,9
25.07.98 12:56	12,46	56,9	10.09.98 10:15	14,55	48,9
26.07.98 12:56	13,78	57,6	11.09.98 13:56	14,49	48,6
27.07.98 14:45	14,38	58	12.09.98 13:56	14,52	48,6
28.07.98 13:46	16,21	54,3	13.09.98 13:56	14,55	48,7
29.07.98 11:04	16,48	54,3	14.09.98 10:43	14,59	48,6
30.07.98 13:20	16,42	53,5	15.09.98 12:35	14,08	48,6
31.07.98 14:08	16,59	53,5	16.09.98 13:06	14,24	48,6
01.08.98 14:08	16,44	52,1	17.09.98 13:06	14,16	48,9
02.08.98 14:08	16,32	51,6	18.09.98 12:52	14,14	50
03.08.98 12:24	16,03	51,1	19.09.98 12:52	14,04	49,5
04.08.98 12:56	16,22	51,1	20.09.98 12:52	13,52	49,3
05.08.98 12:56	16,18	51	21.09.98 12:39	12,32	48,6
06.08.98 12:19	8,23	0	22.09.98 12:39	12,46	48,6
07.08.98 12:15	16,1	51,1	23.09.98 13:09	12,79	48,6
08.08.98 11:19	16,2	51,1	24.09.98 10:41	12,94	48,6
09.08.98 14:19	16,56	51,1	25.09.98 13:23	13,04	48,6
10.08.98 14:25	16,1	51,1	26.09.98 13:23	12,89	48,6
11.08.98 13:24	16,12	51,1	27.09.98 13:23	12,95	48,6
12.08.98 13:24	16,05	51,1	28.09.98 12:19	12,22	48,6
13.08.98 12:32	15,42	51,1	29.09.98 10:37	10,21	48,6
14.08.98 14:30	14,14	51,5	30.09.98 13:33	10,5	48,6
15.08.98 14:30	14,53	52,6	01.10.98 12:37	10,72	48,6
16.08.98 14:30	14,83	52,3	02.10.98 12:17	10,63	48,6

Fonte: SUDERHSA/UFPR/SANEPAR

Notas: Dados extraídos do monitoramento de poços do Projeto Carste

Tabela 4 - (Continuação) Nível Dinâmico e Vazão Poço 12

Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)	Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)
03.10.98 03:20	10,55	48,6	12.11.98 14:22	13,02	48,6
04.10.98 12:37	10,41	48,6	13.11.98 14:22	13,08	48,6
05.10.98 12:15	9,92	48,6	14.11.98 14:22	13,15	48,6
06.10.98 14:35	9,71	51,5	15.11.98 14:22	13,22	48,6
07.10.98 12:50	9,8	51,1	16.11.98 14:22	13,29	48,6
08.10.98 11:01	9,83	51,5	17.11.98 14:22	13,37	48,6
09.10.98 13:23	8,1	0	18.11.98 10:09	13,48	48,6
10.10.98 16:26	8,2	0	19.11.98 12:31	13,41	48,6
11.10.98 15:03	11,4	46,6	20.11.98 12:49	13,4	50,4
12.10.98 13:23	11,3	46,6	21.11.98 12:49	13,31	50,4
13.10.98 13:58	11,2	46,5	22.11.98 12:49	13,24	50,4
14.10.98 12:28	11,78	46,5	23.11.98 12:31	13,09	50,4
15.10.98 14:48	12,15	46,5	24.11.98 10:36	13,31	50,4
16.10.98 12:39	12,34	46,5	25.11.98 13:26	13,06	50,4
17.10.98 10:32	11,95	46,5	26.11.98 13:26	14,05	50,4
18.10.98 17:43	11,45	46,5	27.11.98 13:26	14,12	50,4
19.10.98 12:30	10,31	46,5	28.11.98 13:10	14,29	50,4
20.10.98 15:11	12,56	52,2	29.11.98 13:10	14,02	50,4
21.10.98 10:01	12,51	52,2	30.11.98 13:21	13,83	50,4
22.10.98 15:38	12,48	52,2			
23.10.98 09:55	12,47	52,2			
24.10.98 11:51	12,45	52,2			
25.10.98 16:35	12,42	52,2			
26.10.98 10:39	12,4	52,2			
27.10.98 09:51	12,43	52,2			
28.10.98 16:55	12,41	52,2			
29.10.98 18:11	12,44	52,2			
30.10.98 13:23	12,46	52,2			
31.10.98 13:22	12,49	52,2			
01.11.98 09:51	12,51	52,2			
02.11.98 17:13	12,51	52,2			
03.11.98 13:07	12,52	52,2			
04.11.98 13:25	12,66	52,2			
05.11.98 13:00	12,73	52,2			
06.11.98 13:14	12,36	50,4			
07.11.98 13:14	12,39	50,4			
08.11.98 13:14	12,42	50,4			
09.11.98 13:40	12,56	50,4			
10.11.98 10:48	12,1	50,4			
11.11.98 10:28	12,09	48,6			

Fonte: SUDERHSA/UFPR/SANEPAR

Notas: Dados extraídos do monitoramento de poços do Projeto Carste

Tabela 5 - Nível Dinâmico e Vazão Poço 14

Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)	Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)
01.04.00 10:21	4,38	52,92	19.05.00 14:16	7,36	49,78
02.04.00 10:21	4,32	52,92	20.05.00 14:16	7,38	49,78
03.04.00 10:21	4,27	52,92	21.05.00 14:16	7,52	49,78
04.04.00 10:31	5,21	58,32	22.05.00 12:51	7,65	57,58
05.04.00 14:41	5,38	73,4	23.05.00 12:51	7,6	57,58
06.04.00 10:10	5,26	79,3	24.05.00 12:51	7,87	57,58
07.04.00 10:58	5,49	67,6	25.05.00 11:42	8,05	57,58
08.04.00 10:58	5,4	67,6	26.05.00 10:36	8,11	57,58
09.04.00 10:58	4,46	67,6	27.05.00 10:36	8,04	57,58
10.04.00 10:23	5,51	75,13	28.05.00 10:36	8,1	57,58
11.04.00 09:55	5,72	68,4	29.05.00 12:59	8,19	57,58
12.04.00 10:40	5,75	64,87	30.05.00 12:59	8,01	57,58
13.04.00 10:40	5,67	64,87	31.05.00 13:17	7,9	57,58
14.04.00 10:05	5,58	85,68	01.06.00 13:17	7,98	57,58
15.04.00 10:11	4,86	85,68	02.06.00 14:16	7,95	57,58
16.04.00 10:11	4,81	85,68	03.06.00 14:16	7,94	57,58
17.04.00 10:11	4,75	85,68	04.06.00 14:16	7,82	57,58
18.04.00 10:11	4,77	85,68	05.06.00 14:16	7,63	57,58
19.04.00 10:11	4,82	85,68	06.06.00 14:26	7,43	57,58
20.04.00 10:11	4,79	85,68	07.06.00 14:26	7,31	57,58
21.04.00 10:11	4,76	85,68	08.06.00 11:11	7,28	57,58
22.04.00 10:11	4,8	85,68	09.06.00 12:58	7,34	57,58
23.04.00 10:11	4,85	85,68	10.06.00 12:58	7,24	57,58
24.04.00 10:11	4,85	85,68	11.06.00 12:58	7,2	57,58
25.04.00 10:43	4,86	40,24	12.06.00 12:58	7,18	57,58
26.04.00 10:43	4,78	40,24	13.06.00 13:06	7,19	57,58
27.04.00 10:43	4,79	40,24	14.06.00 13:06	7,08	57,58
28.04.00 13:21	4,85	48,49	15.06.00 13:06	6,94	57,58
29.04.00 13:21	4,88	48,49	16.06.00 14:36	6,87	57,58
30.04.00 13:21	4,9	48,49	17.06.00 14:36	6,8	57,58
01.05.00 13:21	4,94	48,49	18.06.00 14:36	6,65	57,58
02.05.00 13:09	4,97	48,49	19.06.00 13:05	6,54	57,58
03.05.00 13:09	4,98	48,49	20.06.00 13:05	5,47	57,58
04.05.00 13:09	4,95	48,49	21.06.00 11:20	4,9	57,58
05.05.00 13:40	4,96	0	22.06.00 11:20	4,38	57,58
06.05.00 13:40	4,99	0	23.06.00 13:40	4,02	99,7
07.05.00 13:40	5,56	0	24.06.00 13:40	4,46	99,7
08.05.00 10:10	5,04	58,42	25.06.00 13:40	4,97	99,7
09.05.00 10:10	5,65	58,42	26.06.00 09:54	5,12	99,7
10.05.00 10:40	5,92	41,79	27.06.00 10:42	5,08	99,7
11.05.00 10:40	6,45	41,79	28.06.00 15:25	5,01	99,7
12.05.00 13:50	6,61	41,79	29.06.00 15:25	4,96	99,7
13.05.00 13:50	6,98	41,79	30.06.00 14:24	4,92	99,7
14.05.00 13:50	7,32	41,79	01.07.00 14:24	4,99	99,7
15.05.00 14:48	7,52	49,78	02.07.00 14:24	5,24	99,7
16.05.00 14:48	7,48	49,78	03.07.00 11:37	5,66	83,8
17.05.00 14:48	7,43	49,78	04.07.00 11:37	5,87	83,8
18.05.00 14:48	7,3	49,78	05.07.00 11:37	5,96	83,8

Fonte: SUDERHSA/UFPR/SANEPAR

Notas: Dados extraídos do monitoramento de poços do Projeto Carste

Tabela 5 - (Continuação) Nível Dinâmico e Vazão Poço 14

Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)	Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)
06.07.00 13:02	6,1	83,8	19.08.00 14:38	6,8	99,3
07.07.00 10:28	6,36	83,8	20.08.00 14:38	6,88	99,3
08.07.00 10:28	6,42	83,8	21.08.00 10:45	6,97	150,4
09.07.00 10:28	6,42	83,8	22.08.00 10:45	7,04	150,4
10.07.00 10:28	6,42	83,8	23.08.00 10:45	7,06	150,4
11.07.00 12:15	6,41	83,8	24.08.00 11:05	7,08	166,3
12.07.00 12:15	6,46	83,8	25.08.00 13:10	7,19	150,4
13.07.00 12:15	6,48	83,8	26.08.00 14:19	7,16	90,4
14.07.00 12:47	6,5	99,7	27.08.00 14:19	6,45	90,4
15.07.00 12:47	6,58	99,7	28.08.00 14:19	6,31	90,4
16.07.00 12:47	6,79	99,7	29.08.00 14:19	5,71	90,4
17.07.00 13:16	6,91	92,1	30.08.00 16:25	5,75	90,4
18.07.00 13:16	6,96	92,1	31.08.00 16:25	5,89	90,4
19.07.00 12:58	7,06	73,8			
20.07.00 12:58	7,1	73,8			
21.07.00 13:52	7,19	105			
22.07.00 13:52	7,14	105			
23.07.00 13:52	7,17	105			
24.07.00 10:50	6,17	101,8			
25.07.00 10:50	6,17	101,8			
26.07.00 13:20	6,18	98,6			
27.07.00 13:20	6,15	98,6			
28.07.00 11:05	6,15	111,6			
29.07.00 11:05	6,2	111,6			
30.07.00 11:05	6,24	111,6			
31.07.00 13:52	6,27	97,5			
01.08.00 13:52	6,3	97,5			
02.08.00 13:52	6,22	97,5			
03.08.00 13:52	6,08	97,5			
04.08.00 13:30	6,04	69,1			
05.08.00 13:30	6,12	69,1			
06.08.00 13:30	6,17	69,1			
07.08.00 13:30	6,19	69,1			
08.08.00 14:40	6,21	88,5			
09.08.00 14:40	6,1	88,5			
10.08.00 10:00	6,03	48,9			
11.08.00 15:25	6,24	101,6			
12.08.00 15:25	6,34	101,6			
13.08.00 15:25	6,41	101,6			
14.08.00 12:18	6,5	83,5			
15.08.00 12:18	6,6	83,5			
16.08.00 12:18	6,7	55			
17.08.00 12:18	6,72	55			
18.08.00 14:38	6,73	99,3			

Fonte: SUDERHSA/UFPR/SANEPAR

Notas: Dados extraídos do monitoramento de poços do Projeto Carste

Tabela 6 - Nível Dinâmico e Vazão Poço 15

Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)	Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)
01.08.00 14:09	5,25	94,8	18.09.00 12:30	5,79	248,76
02.08.00 14:09	5,27	96,2	19.09.00 12:30	5,82	242,9
03.08.00 14:09	5,28	95,1	20.09.00 12:30	5,89	167,9
04.08.00 13:55	5,29	85,6	21.09.00 15:05	5,93	116,28
05.08.00 13:55	5,31	89,1	22.09.00 15:05	5,99	157,9
06.08.00 13:55	5,33	93,9	23.09.00 15:05	6,12	195,2
07.08.00 13:55	5,33	99,5	24.09.00 15:05	6,19	214,18
08.08.00 14:05	5,32	102,9	25.09.00 11:40	6,25	225,28
09.08.00 14:05	5,75	114,12	26.09.00 11:40	6,27	215,08
10.08.00 09:25	5,9	121,6	27.09.00 15:10	6,06	140,4
11.08.00 15:50	6,32	126,98	28.09.00 15:10	6,08	140,6
12.08.00 15:50	6,29	119,2	29.09.00 14:28	6,01	140,4
13.08.00 15:50	6,35	121,18	30.09.00 14:28	6,02	140,2
14.08.00 13:03	6,44	125,68	01.10.00 14:28	6,02	140,4
15.08.00 13:03	6,35	107,1	02.10.00 14:28	6,04	140,6
16.08.00 11:15	6,58	93,9	03.10.00 14:28	6,04	140,3
17.08.00 11:15	6,59	93,9	04.10.00 11:19	5,94	140,4
18.08.00 10:35	6,59	93,9	05.10.00 11:19	5,93	140,3
19.08.00 10:35	6,62	98,4	06.10.00 15:58	5,8	86,68
20.08.00 10:35	6,64	99,1	07.10.00 10:38	5,77	86,68
21.08.00 11:03	6,66	102,9	08.10.00 10:38	5,72	88,91
22.08.00 11:03	6,65	101,4	09.10.00 10:38	5,44	93,87
23.08.00 10:35	6,64	100	10.10.00 16:20	5,34	99,97
24.08.00 12:45	6,73	91,18	11.10.00 16:20	5,83	99,96
25.08.00 14:30	6,5	97,2	12.10.00 12:35	5,98	99,18
26.08.00 14:30	6,58	99,5	13.10.00 11:15	6,02	156,96
27.08.00 14:30	6,65	101,3	14.10.00 13:45	6,05	124,9
28.08.00 14:30	6,76	101,4	15.10.00 13:45	6,01	123,6
29.08.00 14:30	7,87	104,6	16.10.00 15:38	6,1	180,3
30.08.00 11:42	6,97	106,7	17.10.00 15:38	6,12	173,8
31.08.00 11:42	6,05	97,3	18.10.00 16:35	5,94	0
01.09.00 16:27	6,12	92,8	19.10.00 16:35	6,11	120,3
02.09.00 10:20	6,12	100	20.10.00 16:35	6,08	112,3
03.09.00 10:20	6,05	107	21.10.00 10:15	6,27	95
04.09.00 10:14	6,01	98,2	22.10.00 10:15	6,29	97,4
05.09.00 09:26	5,29	117,3	23.10.00 10:15	6,33	93,2
06.09.00 11:35	5	155,1	24.10.00 17:35	6,36	90,3
07.09.00 10:17	5,04	126	25.10.00 17:35	6,39	92,1
08.09.00 10:17	5,07	121,3	26.10.00 17:35	6,41	91,3
09.09.00 10:20	5,09	118	27.10.00 13:39	6,41	90,3
10.09.00 10:20	5,15	119,6	28.10.00 13:39	6,43	106,9
11.09.00 15:20	5,17	202,3	29.10.00 13:39	6,44	115,8
12.09.00 15:20	5,31	202,4	30.10.00 09:22	6,46	126
13.09.00 14:20	5,35	202,3	31.10.00 09:22	6,47	125,8
14.09.00 13:50	5,14	276,32	01.11.00 11:00	6,47	129,9
15.09.00 15:15	5,95	183,78	02.11.00 11:00	6,51	129,5
16.09.00 15:15	5,88	187,5	03.11.00 11:00	6,52	131,5
17.09.00 15:15	5,83	189,2	04.11.00 11:00	6,51	132,1

Fonte: SUDERHSA/UFPR/SANEPAR

Notas: Dados extraídos do monitoramento de poços do Projeto Carste

Tabela 6 - (Continuação) Nível Dinâmico e Vazão Poço 15

Data/Hora	ND (m)	Q (m3/h)
05.11.00 11:00	6,59	132,4
06.11.00 11:00	6,55	130,7
07.11.00 11:00	6,52	130,3
08.11.00 10:10	6,48	129,9
09.11.00 11:50	6,47	110,8
10.11.00 11:50	6,45	115,7
11.11.00 11:50	6,48	114,2
12.11.00 11:50	6,49	111,7
13.11.00 13:35	6,47	86,7
14.11.00 13:35	6,41	89,5
15.11.00 13:35	6,45	93,8
16.11.00 10:25	6,38	92,5
17.11.00 10:25	6,45	95,7
18.11.00 10:25	6,51	109,4
19.11.00 10:25	6,52	118,3
20.11.00 09:45	6,35	136
21.11.00 11:15	6,34	108
22.11.00 11:15	6,49	104,13
23.11.00 12:10	6,34	97,2
24.11.00 11:05	6,37	87,8
25.11.00 11:05	6,43	87,6
26.11.00 11:05	6,41	85,8
27.11.00 12:35	6,37	74,1
28.11.00 12:00	5,77	131,4
29.11.00 12:00	5,47	127,9
30.11.00 10:12	5,24	127,9

Fonte: SUDERHSA/UFPR/SANEPAR

Notas: Dados extraídos do monitoramento de poços do Projeto Carste

Tabela 7 - Dados Pluviométricos da Estação Juriqui Mun. Almirante Tamandaré
Alturas mensais de Precipitação (mm)

Alturas mensais de precipitação (mm)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1984	-	43,1	222,7	104,5								
1985	89,6	173,4	111,7	85,5	8,1	28	23,3	15,4	56,9	95,8	47,1	60,3
1986	145,2	81,4	84,7	111,2	121,4	0	54	98,1	53,4	86,8	93,2	229,8
1987	136,4	180,2	50,8	119	354,2	165,6	53,1	53,2	87,1	102,7	61,4	129,7
1988	136,1	135,1	260,4	89,9	267,5	60	17,6	0,6	67,5	102,2	133,2	177,3
1989	228,7	158,4	136,4	146,5	83,8	65,6	104,7	48,7*	139,0*	79,4*	59,7*	178,6*
1990	311,3*	101,8*	290,1*	152,6*	81,6*	111,2*	246,6*	145,7*	133,7*	185,6*	152,1*	63,2*
1991	141,7*	173,3*	169,2*	85,9*	50,0*	152,8*	3,4*	71,8*	31,8*	236,5*	43,5*	229,3*
1992	45,7*	122,9*	144,3*	24,1*	316,9*	26,0*	158,6*	119,8*	57,8*	72,9*	77,2*	62,6*
1993	204,6	151,3	140,6	119,1	182,7	96,6	124,2	28,4	384,9	176,5	88,8	107,9
1994	156,8	55,1	109,1	113	51	106,7	149,1	3,3	6,6	211,2	111,6	242,9
1995	462,3	239,3	170,2	65,8	39	90	130,6	38,2	146,7	103,4	63	91,1
1996	215,8	182,4	251,4	30,5	1	101,8	89,8	79,8	272,6	183,7	96,7	202,1
1997	268,9	148,4	96,3	52,5	58,9	176,3	57,8	85,2	149,5	234	188,6	219,9
1998	262,6	146,5	275,6	170,3	56,6	112	141,4	267	351,4	208,4	13,7	149
1999	228,1	314,2	67,1	56,7	52,2	100,3	127,4	7,7	120,1	128,3	68,2	105,3
2000	111,9	192,5	119,6	11	34,3	101,4	93	108,8	244,6	185,9	120	234,4
Média:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143,3	96,5	152,2
Mínima:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43,1	13,7	60,3
Máxima:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	236,5	222,7	242,9
Desvio padrão:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60,3	52,4

Fontes: DANEE/ANEEL/SUDERHSA

Notas: Dados extraídos dos arquivos da SUDERHSA

Tabela 8 - Dados Pluviométricos da Estação Juriqui Mun. Almirante Tamandaré
Resumo Anual de Precipitação (mm)

anual							
Ano	Total	anual	Máxima	diária	Data	Dias	de chuva
1984	-	-	-	-			
1985	795,1	41,5	23/01/1985	89			
1986	1159,2	71,8	18/12/1986	91			
1987	1493,4	69,7	08/05/1987	150			
1988	1447,4	101,2	13/11/1988	123			
1989	1429,5	66,9	19/12/1989	121			
1990	1975,5	67,5	03/03/1990	143			
1991	1389,2	75,6	21/06/1991	127			
1992	1228,8	74,7	31/05/1992	130			
1993	1805,6	108	14/05/1993	138			
1994	1316,4	76	16/12/1994	109			
1995	1639,6	110,7	08/01/1995	132			
1996	1707,6	72,7	28/09/1996	112			
1997	1736,3	106,6	21/01/1997	174			
1998	2154,5	86,9	19/06/1998	161			
1999	1375,6	47,5	14/02/1999	151			
2000	1557,4	66	01/02/2000	152			
Média:	1513,2	77,7	131,4				
Mínima:	795,1	41,5	89				
Máxima:	2154,5	-	-				
Desvio	padrão:	318,5	19,7	23,1			

Fontes: DANEE/ANEEL/SUDERHSA

Notas: Dados extraídos dos arquivos da SUDERHSA

Tabela 9 - Dados Pluviométricos da Estação Colombo
Dados Mensais de Precipitação (mm)

Ano: 1996													
Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1	0	0	0,2	27,2	2,1	0,2	10,3	0	0	15,6	0	31,1	
2	0	0,8	9,3	0,5	5,9	0,8	3	0	0	0	0,4	0	
3	13,7	1,4	1,1	3,9	0	0	0	7,9	0	0	26,4	2,6	
4	2,2	0,9	0	0,8	0	0	0	0	0	46,7	16,3	0	
5	3,4	0	0,4	0,2	0	0	1,5	0	0	0	0	0	
6	12,4	11,9	42,6	0,5	0,3	0	13,6	0	0	0	7,5	0	
7	1,4	39,5	0,2	8,5	0	0	0	4,3	0	0	0	0	
8	0	0	11,6	2,4	4,5	0	0,1	35,2	0	0	0	3	
9	0	14,5	78,1	35,5	0	0	0	11	0	47,9	0	3,7	
10	8,8	3,4	1,6	0	0	0	3,4	46,8	1,3	0	0	0	
11	8,6	2,3	0,9	11,1	0	0	0	0,2	11,3	10	8,1	12,6	
12	0	10,2	0	0,2	0	0	0	0	0,1	0	0,6	24	
13	0	3,3	0	0,5	0	0	0,1	0	0	12,5	0,9	5,3	
14	0	0,2	0	1,6	0,2	0	0	0	0	12,3	0	0	
15	13,7	0	2,1	0	0	0	0	46,3	0	0	6,4	0,9	
16	0	0	5,9	0	0	0	0	0	0	0	19,5	0	
17	2,6	3,6	1,8	2,4	0	31,7	0	0	7,5	0	12,8	6,8	
18	1,1	9,6	4,5	0	0	1,9	0	0	0,6	0	0	0,3	
19	23,2	0,3	0,7	0	0	0	0	0	0	6,9	0,3	0	
20	1,6	0,2	30,6	1,8	0	0,5	0	0	0	38,7	0	22,6	
21	0,7	0,9	1,5	0,5	0	0	1,2	0	0	27	0	2,8	
22	7,2	0	9,5	0	0	0	0	0	0	0,3	2,5	39,6	
23	20,7	0	14	0	0	0,2	0,2	0	0	4,4	0,1	24,2	
24	0	0	20,7	0	0,2	0,2	0,3	0	0,5	0	0	0	
25	1,8	3,9	0	0	0,4	0,5	0	0	15,7	11,1	6,9	0	
26	2,4	4	0	0	0,5	0	0	0	3,5	2,3	0,2	0,4	
27	0	6,8	27,7	0,2	0	21,4	7,4	0	1,3	51,4	1,9	6,7	
28	31,2	0	38,5	0	0	7,1	0,5	0,5	18,4	1,1	1,3	4,7	
29	4,9	11	0	6,2	0	12,5	0	0	11,7	0	0	20,6	
30	0 *		0,9	0,5	0	0,7	0	0	1,1	0	0	0,3	
31	8,3 *		0 *		0 *		0	0 *		0,6 *		0,1	
Resumo mensal													
Total:		205,8	203,2	240	37,8	2,3	105,2	71,5	93,8	183	229,2	102	205
T. cons:		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máxima:		39,5	78,1	38,5	11,1	0,8	31,7	35,2	46,8	47,9	51,4	31,1	39,6
NDC:		21	22	24	14	6	15	11	4	15	17	17	21

Fontes: DANEE/ANEEL/SUDERHSA

Notas: Dados extraídos dos arquivos da SUDERHSA

Tabela 9 - Continuação

Ano:	1997												
Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1	0	0	6,9	0	0	0	0	8,2	0	0	2,6	0	
2	30	2	2,7	0,7	1,9	0	0	0	0	0	0,4	0	
3	0	9,2	3,5	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0,4	15,3	
4	0	1,6	7,3	16,3	0	0	0	0,1	0,4	0	0	1,3	
5	1,7	0	0,2	0	0	0,6	7,8	0	7,3	2	0	0	
6	0	0	0	16,4	0	0	0,9	0	0,2	0,1	26	5,4	
7	0	0	0	2	0	0	0	0	0,5	0	11,1	2,6	
8	16,4	0	0	0	0	0	0	0,2	0,7	0	2,6	0	
9	0	2,4	0	0,5	2,5	0	0	0	0	0	8	0	
10	30	0	0	0	0	0	0	0	0	3,8	0,3	0	
11	1,4	0	0	0	0	0	0	1,5	0,7	0,1	7,3	3	
12	0	19,3	0,3	0	0	3,3	0	0,1	0	0	6,9	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37,2	4,8	0	
14	7,8	0,2	0	0	0	20,7	0	0	0	0	6,7	0	
15	1	3,6	16,7	0	2,9	5,4	0	0	35,9	0	0	14,4	
16	0	17,9	2	0	0	0	0	0	0	11	0	0	
17	3,9	8,1	0	6,7	0	0	0	0	0	2,3	53,8	1,8	
18	0,9	4,2	0	0	0	0	20,7	0	0	0	40,1	0,5	
19	0	0	0	1,9	0	0	0,4	0	0	0	11,4	0	
20	19,7	2,5	0	0,2	0	20,4	0,1	0	0	28,1	0,5	0	
21	81,2	0	0,2	0	0	0,8	25,5	18,7	0	5,2	0	0	
22	32	0	0	0	19,9	0	10,5	11,8	53,5	28,8	11,5	1,4	
23	38,9	0	0	0	0	0	0	8,6	0	0,2	0	0	
24	5,3	6,1	0	0	0	0	0	0	0	0,3	15,4	1,1	
25	4,7	0,7	0,3	0	11,7	0	0	7,9	14	0	0	0	
26	1,2	16,3	0	0	0,4	0	0	0,3	12,2	0	3,6	0	
27	0,2	0	0	0	0	37,6	0	0,1	0,5	3,4	14,8	0	
28	2,3	0	0	0	18,4	31,4	0,2	0	0	0	15,7	0	
29	2,2 *		0	0	0,4	13,1	0,1	0	32	0	0	61,8	
30	14,8 *		0	0	0	29,1	0	0	20	16	0	0,5	
31	3,7 *		0 *		0,3 *		0	0 *		9,9 *		0	

Resumo mensal

Total:		266,4	99,5	55,7	13,5	54,6	170,5	66	58,1	171	197,4	217	132,6
T.	cons:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Máxima:	81,2	19,3	16,7	6,7	19,9	37,6	25,5	18,7	53,5	37,2	53,8	61,8
	NDC:	22	15	11	6	8	11	10	13	10	20	18	11

Fontes: DANEE/ANEEL/SUDERHSA

Notas: Dados extraídos dos arquivos da SUDERHSA

Tabela 9 - Continuação

Ano:	1998													
Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
1	0	0	0	0	0	29,6	0	3,1	0	0	0	7,7	0	
2	0	0	0	20,9	46,1	0,9	0	0,1	7,2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0,8	2	0	0	0	32,4	14,2	0	0	0,3	
4	0	0	0	0	0	0	1,5	0,1	27,2	0	5,7	0	0	
5	6,2	76,8	0,1	0	0	0	0	0	19,5	0	35,8	0		
6	0	0	3,4	0	0	0	0	0	2,6	8,4	0	0	0	
7	8,4	7,6	0	0	0	0	0	0	0	0	32,5	0		
8	0	28,1	0	0	0	0	0	0,2	0	0	52,7	31,6	0	
9	0	4,2	0,3	21,9	0	0	0	0,1	65	0	6	7	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1	0,9	0	0,1	13,2	
11	0	11,8	5,7	0	0	0	0	0	0	0	2,9	34,4		
12	2	19,7	0	0	0	0	0	0	1,2	0	0	0	10,9	
13	0	0,6	2,3	2,1	0	0	0	0,5	24,1	0	4,7	0	0	
14	0	0	2	0	0	0	0	0	45,3	17,8	0	0	0	
15	7,7	0	0	0	0	20,9	2,9	0,2	0	25,8	0	0	10	
16	15	9,2	15,4	12,4	0	0	0	0,1	0	2,9	0	0,4	4,8	
17	0,4	1,5	1,4	12,4	0	0	0	0	2,6	0	13,1	0	17,3	
18	0	0,1	28,5	0,3	0,5	0	0	0	23,1	5,3	0	0	0,4	
19	0	0	38,7	0	0	77,4	0	33,7	8	6	0	0	0	
20	0	3	12,6	0,2	0	0	0	11,7	0,1	0	0,6	0	0	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	3,5	83,8	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	5,8	
23	0	0	28,7	0	0	0	0	4,6	0	2,4	0	1,4	41,6	
24	3,8	0	0,1	60,4	0	16,8	0	0,1	0	0	0	0	6,3	
25	0	13,9	18,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	68,1	6,3	0	0	0	0	0	0	5,6	45,1	1,7	0		
27	1,8	0,2	2,4	16,1	0	25,5	0	0	0	0	13	0,9	0	
28	0	0,1	0	15	0	0	0	0,1	0	36,4	0	0	3,8	
29	1,8 *		0	0,4	0,8	0,5	0	0	72,6	0	0	0	2,9	
30	0,5 *		55,1	0	0,2	0,3	0	0	6,4	0,7	10,8	0		
31	0,2 *		12,1 *		0 *		0	2,3 *		0,2 *		0		
Resumo mensal														
	Total:		218	91,9	293	149,8	49,4	101,5	152	179	332	198	18,5	166
T.	cons:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Máxima:		76,8	20,9	55,1	60,4	25,5	77,4	65	45,3	83,8	45,1	10,8	41,6
	NDC:		14	16	17	11	6	10	13	14	15	13	8	14

Fontes: DANEE/ANEEL/SUDERHSA

Notas: Dados extraídos dos arquivos da SUDERHSA

Tabela 9 - Continuação

Ano: 1999													
Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1	0	0	36,1	4,2	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0,8	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8	8,6	0,2	
3	0	0	11,7	0	0	0	0	0	0	0	8	0	
4	23,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	
5	0	35,6	0	0	0,5	0	0	121	0	0	0	21,6	
6	0	1	0	0	0	16,2	0	0,8	0	0,2	0,2	6,2	
7	15,6	1,3	0	0	1	14,1	0,5	30,1	0	0	0,2	0	
8	1,2	6,4	36,2	1,3	0,7	0	0	2,7	0	9,8	8,2	0	
9	4,2	20,6	29,8	0,1	0,5	0	0	0	0	30,5	5,4	0	
10	0	20,6	3,1	0	2,6	20,4	0	0	8,8	0,2	2,4	0	
11	66,1	0,2	4,9	0	0	1,1	0	0	0,4	0,4	1	4,2	
12	1,2	0	0	1	0	0	1,7	0	7	0	8,4	0	
13	12,2	0	0	6,8	0,1	0	0	0	1,6	0	10,8	0,4	
14	0,3	0	0	0,2	0	3,4	0	0	0	0,2	0	5,8	
15	0	0	3,9	9,8	0	6,1	0,1	0	33,9	0	1,2	0	
16	3,9	0	0	17,2	0	0,1	0	0	0,4	3,8	2,4	0	
17	0,4	94,5	0,3	11,3	0,7	0,1	0	0	0	47,4	0	0	
18	27,6	3	0,3	0	0,7	19,3	0	0	0	1	0	0	
19	11,6	9,7	0	1,4	0	3,7	0	0	0	0	0	0	
20	1,3	2,7	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	
21	1,9	0	0	0	0	25,4	0	0	0	0	0	6,2	
22	25,2	11,2	0	0,3	0	0	0	0	0,4	0,2	0	0	
23	0	56,8	0	0	0	0,1	0,1	0	1	0,2	16,4	0	
24	0	0	11,1	0	0,2	0	0	0	0	0,8	8,6	0	
25	25,5	6,8	0	0	0	7,1	0	0	0,2	0,4	0	0	
26	0,3	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0,6	0	0	
27	0	4,6	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	8,8	
28	9,8	0	0	0	0	0	4,6	0	0	14,6	0	19,2	
29	6,9 *		7,1	0	0	0	2,7	0	0	38,6	0	0	
30	5,3 *		0,3	0	0	1,5	0	0	3,8	0,4	0	0	
31	0 *		52 *		6,5 *		0	4,6 *		1,4 *		8	

Resumo mensal

Total:		264,4	323,9	88,6	51,1	41,5	88,8	164	5,2	99,8	141,6	80,2	97,2
T.	cons:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Máxima:	66,1	94,5	52	17,2	16,2	25,4	121	4,6	33,9	47,4	21,6	23,6
	NDC:	21	14	12	14	9	13	9	2	14	23	13	11

Fontes: DANEE/ANEEL/SUDERHSA

Notas: Dados extraídos dos arquivos da SUDERHSA

Tabela 9 - Continuação

Ano: 2000													
Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1	28,6		2,4	49,2	3,8	0	0	0	0,2	4,4	0,8	0	0
2	0		4,6	1,8	0,2	0	0	0	0	0,4	8,8	0	0
3	0		4,2	0	0	0	0	0	4,4	7,2	10,6	0	1,4
4	10,6		0,6	5,8	0	0,8	2	0	0	8,8	0	0	0
5	15,4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,8	0
6	0		0	0	13,4	0	0,6	0	0	0	0	0,6	0
7	0		6,4	0	12,4	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0		7,4	0	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0		2,6	2,6	0	0	7	0,4	14,2	0	16,2	0	0
11	0,4		0	0	0	0	0	0,8	0	19,6	19,4	19,2	0
12	0		3,6	0	0	0,6	0	1	0	58,8	0	0	0
13	0		6,2	0	0	0,4	0	0,4	0	14	15,6	2,6	0
14	0		5,8	0	0	0	0	0	0	17,4	21,2	17,2	5,6
15	9,4		20	0	0	0	0	3,2	0	2	2,6	0,6	16,2
16	20,2		31,4	0,8	0	0	0	12,6	3,6	5,8	0	0	15,8
17	13,4		21,8	1,4	0	16,6	0	0	0	26	0	0	5,4
18	1,4		0,8	0	4,4	0	53,4	0	0,4	17,6	0	11,2	0
19	26,6		0,2	0,6	0,2	1	11,6	0	0	8	2,2	1,8	0
20	0,4		0	1	1,6	0	0	0	0	0	0	0,8	0
21	0		0	0	0	0	32,2	0	0	0	0	2,6	7,2
22	0		0	0	0	0	0	6,4	0	0	0	19,4	0
23	0		3,2	5,8	0	0	0	43,8	0	0	0	0	0
24	0,6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,4
25	0,2		0	3,6	0	0	0	0	0	17	2	16,8	26
26	11		0	0	0	0	14,6	0	0	0,2	0	3,8	9
27	1		0,4	4,8	0	5,4	24,4	0	31,2	0	4	0	48
28	0		0	0	0	0	0	0	38,6	0	10,2	0	0
29	0		10,2	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	47,2
30	0 *			1,2	0	0,8	12,8	0	0	0	0	13	14
31	0,2 *			0 *		0 *		0	0 *		0 *		2,6
Resumo mensal													
Total:			113,4	163	54	7	27,4	156,6	73,2	109	207	114,8	110 254
T. cons:			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máxima:			26,6	49,2	13,4	4,4	16,6	53,4	43,8	38,6	58,8	21,2	19,4 48
NDC:			19	15	14	4	8	8	10	9	14	11	13 15

Fontes: DANEE/ANEEL/SUDERHSA

Notas: Dados extraídos dos arquivos da SUDERHSA

Tabela 9 - Continuação

Ano: 2001												
Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1 -			0	16,8	0	0 -	-	-	-	-	-	-
2 -			0	0,4	0 -	-	-	-	-	-	-	-
3 -			0	5,4	0 -	-	-	-	-	-	-	-
4 -			0	2,8	0 -	-	-	-	-	-	-	-
5 -			0	0	3 -	-	-	-	-	-	-	-
6 -			0	26,4	0 -	-	-	-	-	-	-	-
7 -			2	34,2	0 -	-	-	-	-	-	-	-
8 -			2	0	2 -	-	-	-	-	-	-	-
9 -			0	0	0,4 -	-	-	-	-	-	-	-
10	0		0,8	104,4 -	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0,6		27,2	0 -	-	-	-	-	-	-	-	-
12	12,4		0,6	0 -	-	-	-	-	-	-	-	-
13	14,4		7,8	1,6 -	-	-	-	-	-	-	-	-
14	0		3,4	0 -	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0		8,6	0 -	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1,4		19	44,8 -	-	-	-	-	-	-	-	-
17	6		0	0 -	-	-	-	-	-	-	-	-
18	3,4		13,6	15,8 -	-	-	-	-	-	-	-	-
19	0		0,8	5 -	-	-	-	-	-	-	-	-
20	28,8		4,2	0 -	-	-	-	-	-	-	-	-
21	13		13,2	0 -	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0		0	0 -	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0		0	2,2 -	-	-	-	-	-	-	-	-
24	43,2		3,6	0 -	-	-	-	-	-	-	-	-
25	0		0	0 -	-	-	-	-	-	-	-	-
26	0		0	2,4 -	-	-	-	-	-	-	-	-
27	0		0	13,6 -	-	-	-	-	-	-	-	-
28	0		2,4	2,8 -	-	-	-	-	-	-	-	-
29	0 *			0 -	-	-	-	-	-	-	-	-
30	2,2 *			0 -	-	-	-	-	-	-	-	-
31	9,2 *			0 *	-	*	-	-	*	-	*	-

Resumo Mensal

T.	Total:	138,6	191,2	198 -	-	-	-	-	-	-	-	-
	cons:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Máxima:	43,2	34,2	104 -	-	-	-	-	-	-	-	-
	NDC:	13	19	12 -	-	-	-	-	-	-	-	-

Fontes: DANEE/ANEEL/SUDERHSA

Notas: Dados extraídos dos arquivos da SUDERHSA